

La téléphonie informatique

L'application téléphonique va rester l'application dominante pendant encore de nombreuses années, en raison notamment de l'émergence de nouveaux et immenses marchés, comme celui de la Chine. Même si la majorité du débit total sur les lignes de télécommunications ne correspond plus à de la téléphonie mais à des applications informatiques, le chiffre d'affaires des opérateurs est très majoritairement dépendant des applications téléphoniques.

La parole téléphonique est surtout prise en charge par les réseaux à commutation de circuits, mais une forte concurrence s'exerce avec les réseaux à transfert de paquets, essentiellement de type IP. On peut même dire que le passage vers la téléphonie IP est inéluctable car il permettra d'intégrer les services de données et la téléphonie dans un même réseau. En effet, beaucoup de sociétés essaient d'intégrer leur environnement téléphonique dans leur réseau à transfert de paquets pour, d'une part, faire baisser les coûts des communications et, d'autre part, simplifier la maintenance de leurs réseaux en passant de deux réseaux à gérer (téléphonie et données) à un seul (données).

La difficulté de faire de la téléphonie par paquet provient de la contrainte temporelle très forte due à l'interaction entre individus. Le temps de latence doit être inférieur à 300 ms si l'on veut garder une interaction humaine acceptable. Si l'on souhaite une bonne qualité de la conversation, il ne faut pas que la latence soit supérieure à 150 ms. Un cas encore plus complexe se produit lorsqu'il y a un écho, c'est-à-dire un signal qui revient à l'oreille de l'émetteur. L'écho se produit lorsque le signal rencontre un obstacle, comme l'arrivée sur le combiné téléphonique. L'écho qui repart en sens inverse est numérisé par un CODEC et traverse sans problème un réseau numérique. La valeur normalisée de la latence de l'écho étant de 56 ms, pour que l'écho ne soit pas gênant à l'oreille, il ne faut pas que le temps aller dépasse 28 ms, en supposant un réseau symétrique qui prend le même temps de réponse à l'aller et au retour. Il faut donc que, dans les équipements terminaux, les logiciels extrémité soient capables de gérer les retards et de resynchroniser les octets qui arrivent. En règle générale, les équipements modernes, comme les terminaux GSM, possèdent des supprimeurs d'écho évitant cette contrainte temporelle forte.

La voix simple en paquet n'est pas aussi contraignante que la parole téléphonique car elle n'implique aucune contrainte temporelle. Dans le cas d'IP, il ne faut donc pas confondre la téléphonie sur IP (ToIP) et la voix sur IP (VoIP).

Ce chapitre examine dans un premier temps l'évolution de la téléphonie vers les réseaux Internet et intranet puis aborde l'intégration téléphonie-informatique, aussi appelée CTI (Computer Telephony Integration).

L'application téléphonique

Comme expliqué précédemment, l'application de téléphonie est complexe à prendre en charge en raison de son caractère interactif et de sa forte synchronisation. Rappelons (*voir le chapitre 5*) les trois opérations successives nécessaires à la numérisation de la parole, qu'elle soit téléphonique ou non :

1. **Échantillonnage.** Consiste à prendre des points du signal analogique au fur et à mesure qu'il se déroule. Il est évident que plus la bande passante est importante, plus il faut prendre d'échantillons par seconde. C'est le théorème d'échantillonnage qui donne la solution : il faut échantillonner à une valeur égale à au moins deux fois la bande passante.
2. **Quantification.** Consiste à représenter un échantillon par une valeur numérique au moyen d'une loi de correspondance. Cette phase consiste à trouver la loi de correspondance de telle sorte que la valeur des signaux ait le plus de signification possible.
3. **Codage.** Consiste à donner une valeur numérique aux échantillons. Ce sont ces valeurs qui sont transportées dans le signal numérique.

La largeur de bande de la voix téléphonique analogique est de 3 200 Hz. Pour numériser ce signal correctement sans perte de qualité, puisqu'elle est déjà relativement mauvaise, il faut échantillonner au moins 6 400 fois par seconde. La normalisation a opté pour un échantillonnage de 8 000 fois par seconde. La quantification s'effectue par des lois semi-logarithmiques. L'amplitude maximale permise se trouve divisée en 128 échelons positifs pour la version américaine PCM, auxquels il faut ajouter 128 échelons négatifs dans la version européenne MIC. Le codage s'effectue donc soit sur 128 valeurs, soit sur 256 valeurs, ce qui demande en binaire 7 ou 8 bits de codage. La valeur totale du débit de la numérisation de la parole téléphonique s'obtient en multipliant le nombre d'échantillons par le nombre d'échelons, ce qui donne :

- $8\,000 \times 7 \text{ bit/s} = 56 \text{ Kbit/s}$ en Amérique du Nord et au Japon ;
- $8\,000 \times 8 \text{ bit/s} = 64 \text{ Kbit/s}$ en Europe.

Beaucoup d'autres solutions ont été développées par rapport aux qualités et aux défauts de l'oreille :

- AD-PCM (Adaptive Differential-Pulse Code Modulation), ou MIC-DA (Modulation par impulsion et codage-différentiel adaptatif) ;
- SBC (Sub-Band Coding) ;
- LPC (Linear Predictive Coding) ;
- CELP (Code Excited Linear Prediction).

La section suivante fait un tour d'horizon des principaux codeurs audio.

Les codeurs audio

Les codeurs audio associés aux différentes techniques citées précédemment sont nombreux. On trouve notamment les codecs classiques mais aussi de nouveaux codecs bas débit. La figure 35.1 illustre les vitesses de sortie des différentes normes de codeurs de la voix téléphonique fondées sur un échantillonnage standard à 8 kHz. L'ordonnée représente la qualité du son en réception, qui est évidemment un critère subjectif. Nous avons aussi représenté les codecs utilisés dans les réseaux de mobiles GSM et les normes régionales.

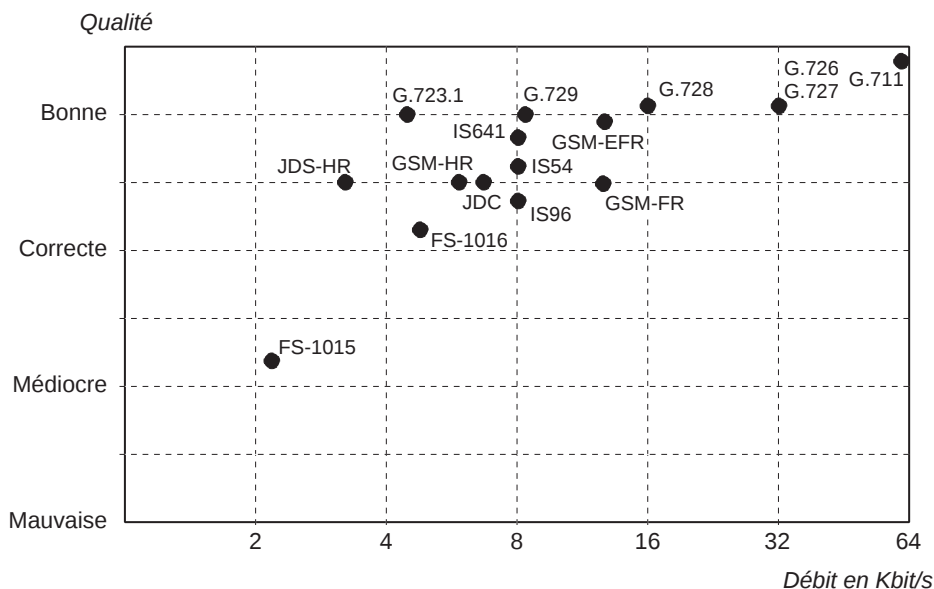


Figure 35.1

Codeurs audio

Pour l'audio haute définition, on considère une bande passante plus importante puisque l'oreille humaine est sensible aux fréquences de 20 à 20 000 Hz. L'échantillonnage s'effectue sur 40 kHz, et c'est la valeur de 44,1 kHz qui a été choisie. Le codage effectué sur un CD tient sur 16 bits par échantillon, ce qui donne 705,6 Kbit/s.

Parmi les nombreux codeurs propriétaires qui existent sur le marché, citons :

- StreamWorks à 8,5 Kbit/s ;
- VoxWare à 2,4 Kbit/s avec le codeur RT24 ;
- Microsoft à 5,3 Kbit/s avec la norme G.723 ;
- VocalTec à 7,7 Kbit/s.

La recommandation G.711 correspond à la numérisation classique à 64 Kbit/s en Europe ou 56 Kbit/s en Amérique du Nord. G.723 est une compression de la parole utilisée par de nombreux industriels, entre autres Microsoft, qui l'utilise dans l'environnement Windows. Le débit descend à presque 5 Kbit/s. G.726 est la norme adoptée pour la compression de la parole en codage différentiel adaptatif en 16, 24, 32 ou 40 Kbit/s.

Dans ce cas, au lieu de coder l'échantillon en entier, on n'envoie que la différence avec l'échantillon précédent, ce qui permet un codage sur beaucoup moins d'éléments binaires. G.727 utilise aussi un codage différentiel, qui apporte des compléments au codage précédent. Cette recommandation indique comment changer, en cours de numérisation, le nombre de bits utilisés pour coder les échantillons. Elle est particulièrement utile dans le cadre des réseaux qui demandent à l'application de s'adapter en fonction de la charge du réseau. G.728 est une compression à 16 Kbit/s utilisant une technique de prédiction, qui consiste à coder la différence entre la valeur réelle et une valeur estimée de l'échantillon à partir des échantillons précédents. On comprend que cette différence peut être encore plus petite que dans la technique différentielle. Si l'estimation est bonne, la valeur à transporter avoisine toujours 0. Très peu de bits sont alors nécessaires pour acheminer cette différence. Les standards FS proviennent du ministère américain de la Défense.

Les codeurs les plus récents sont G.723.1, G.729 et G.729.A. Le codeur G.723.1 permet un débit compris entre 5,3 et 6,4 Kbit/s. Les deux codeurs G.729 donnent un débit de 8 Kbit/s, mais la qualité de la communication est meilleure. Ce codec a été choisi pour compresser la voix dans l'UMTS.

La parole téléphonique est une application très contraignante, comme nous l'avons vu à plusieurs reprises dans cet ouvrage. La première contrainte provient de l'interactivité entre les deux utilisateurs, qui limite le temps aller-retour à une valeur de 600 ms au grand maximum. Les normes de l'UIT-T portent cette valeur à 800 ms. Cependant, pour avoir une bonne qualité de la communication, il faut descendre à 300 ms aller-retour. Suivant les protocoles sous-jacents, plusieurs méthodes permettant de satisfaire à ces contraintes ont été développées à la fin des années 90, que nous allons examiner.

La téléphonie sur ATM et le relais de trames

La technique de transfert ATM a été conçue pour transporter de la parole téléphonique de type G.711 à 64 Kbit/s. La raison de la petite taille de la cellule se trouve dans cette fonctionnalité. Les 48 octets de données de la trame sont remplis en 48 fois 125 μ s, c'est-à-dire 6 ms, ce qui reste acceptable, même lorsqu'il y a des échos et que le temps de transit doit rester inférieur à 28 ms. Si la parole téléphonique est compressée par un codeur G.729 à 8 Kbit/s, il faut un temps de 48 ms de remplissage des 48 octets de données puisque le signal donne naissance à 1 octet toutes les 1 ms. Cette section examine la technique AAL-2 introduite dans la commutation ATM pour réaliser le transport de la voix téléphonique et plus particulièrement la téléphonie UMTS. Avant d'aborder l'AAL-2, introduisons les techniques préalables, qui sont encore utilisées dans les réseaux ATM.

L'émulation de circuit CES (Circuit Emulation Service) a été la première solution pour transporter de la téléphonie en paquet. Cette émulation de circuit utilise l'AAL-1 de l'environnement ATM, et plus précisément le service CBR (Constant Bit Rate), présenté au chapitre 15. Les PABX interconnectés par cette solution utilisent des interfaces E1 normalisées (G.703 et G.704). Le service ATM est de type circuit virtuel permanent. La signalisation sur l'interface est portée dans l'IT16 de l'interface E1.

Une autre solution, VTOA (Voice and Telephony Over ATM), ne privilégie pas de protocole AAL spécifique mais demande le support du service VBR-rt (Variable Bit Rate-real-time). Le PABX est relié au nœud d'accès du réseau de l'opérateur par un canal de type E1 structuré. La signalisation utilise encore l'IT16 de l'interface ou un circuit virtuel permanent dédié. Des normes classiques, comme le CCITT n° 7 ou Q-SIG (Q-Interface Signaling Protocol), une signalisation développée par l'UIT-T, sont utilisées. La parole elle-même est transportée par des liaisons permanentes ou commutées.

AAL-2

L'AAL-2 (ATM Adaptation Layer de type 2) correspond à la troisième couche du modèle ATM. C'est la couche qui s'occupe de la fragmentation et du réassemblage des messages pour obtenir des blocs à la dimension des cellules ATM. Comme nous allons le voir, l'AAL-2 détermine des fragments qui peuvent être tout petits de façon à ne pas perdre de temps à attendre des octets téléphoniques et à envoyer les fragments aussi vite que possible.

Les solutions précédentes concernent essentiellement la parole numérique sous forme de flux à 64 Kbit/s. En réalité, la parole est de plus en plus souvent compressée, comme nous l'avons vu au début de ce chapitre. Lorsque la compression est forte, comme lors de l'utilisation du codeur G.723.1, qui diminue le débit du flot à 6,3 Kbit/s, le temps de remplissage d'un paquet ATM devient très long, même pour une petite cellule.

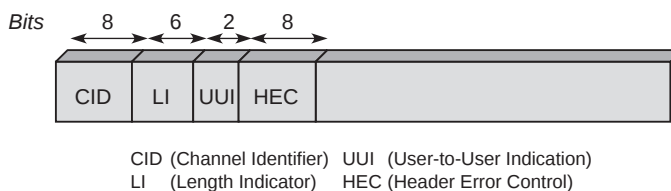
Un calcul simple montre que, pour remplir une cellule de 48 octets à la vitesse de 6,3 Kbit/s, il faut plus de 60 ms. Ce temps est inacceptable si la communication génère des échos ou si d'autres temps d'attente incompressibles s'ajoutent. C'est notamment le cas de la parole numérique dans les réseaux de mobiles, où, au temps de remplissage de la cellule, s'ajoute un temps d'accès important sur l'interface air. Une solution possible, mais guère enthousiasmante, à ce problème est de ne remplir que partiellement les cellules. En supposant, par exemple, une compression de 50 p. 100, amenant le débit à 32 Kbit/s, si l'on veut garder les mêmes contraintes que pour des flux à 64 Kbit/s, il ne faut remplir les cellules qu'à moitié. Cette solution induit un flux à 64 Kbit/s de cellules à moitié remplies.

Le rôle de l'AAL-2 est de remplir une cellule d'octets provenant de plusieurs connexions de parole, mais avec des débits variables pour les différentes voies basse vitesse. La solution du multiplexage de voies de débit constant est simple, puisqu'il suffit de connaître le numéro de l'octet pour récupérer le numéro de la connexion. Lorsque les flux sont variables, il faut ajouter une information pour savoir à quelle voie de parole appartient le segment.

Dans l'AAL-2, ce multiplexage de plusieurs voies de parole est effectué par des minitrames, appelées paquets CSP (Common Part Sublayer). La minitrame AAL-2 est illustrée à la figure 35.2.

Figure 35.2

Minitrame de l'AAL2



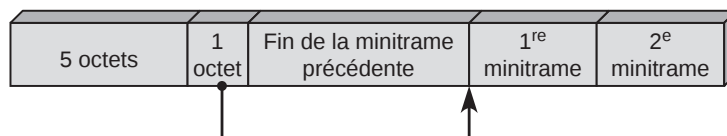
CID (Channel Identifier) UUI (User-to-User Indication)
LI (Length Indicator) HEC (Header Error Control)

L'en-tête de la minitrame tient sur 3 octets. La zone CID (Channel Identifier) est un identificateur de la voie de parole. Sa longueur de 1 octet permet de multiplexer jusqu'à 248 voies de parole (les valeurs 0 à 7 sont réservées). Le champ LI (Length Indicator) indique la longueur de la minitrame. Le champ UUI (User-to-User Indication) permet de transmettre de l'information d'une extrémité à l'autre de la connexion. Le champ HEC (Header Error Control) permet la détection et la correction des erreurs sur les deux octets précédents de l'en-tête. La longueur maximale d'une minitrame est de 64 octets, si bien que le transport d'une minitrame requiert parfois plus d'une seule cellule. Exactement 44 octets de longueur maximale sont nécessaires à son encapsulation dans une cellule ATM.

Les minitrames sont donc encapsulées dans les cellules ATM, et des bits de bourrage complètent la cellule pour arriver à une longueur de 47 octets, un octet étant réservé, comme dans l'AAL-1, pour transmettre des informations de contrôle. La cellule AAL-2 est illustrée à la figure 35.3.

Figure 35.3

Cellule AAL-2



L'octet de contrôle permet de pointer sur le début de la première minitrame encapsulée. En effet, il se peut que le début d'une minitranch ait été transporté dans une cellule précédente. Pour trouver cette valeur, il faut connaître la longueur de la dernière minitranch et compter les octets déjà envoyés dans la fin de la cellule précédente. Le pointeur est utile lorsqu'une cellule est perdue et qu'il faut retrouver le début d'une minitranch. Le pointeur requerrant 6 bits, il reste 2 bits, qui permettent d'effectuer une numérotation modulo 2 et une vérification de parité.

En conclusion, malgré la surcharge engendrée par l'en-tête des minitranches, l'AAL-2 est beaucoup plus efficace que l'utilisation d'une connexion unique pour une voie de parole.

Le relais de trames

Le problème du transport de la parole dans le relais de trames est similaire à celui que l'on trouve dans les réseaux ATM. Sur une liaison virtuelle, où les paquets peuvent atteindre plus de 4 000 octets, il est indispensable de multiplexer sur une même liaison plusieurs voies de parole. La proposition FRF.11 du Frame Relay Forum décrit une solution de minitranch semblable à celle de l'AAL-2 pour transporter les voies de parole.

La possibilité d'avoir un commutateur occupé par la transmission d'une longue tranch LAP-F crée toutefois une difficulté supplémentaire. Il faut donc un mécanisme de priorité pour laisser passer les petits paquets portant de la parole téléphonique. Les solutions mises en œuvre pour transporter de la téléphonie, qu'elle soit IP ou sous forme d'octets, sont décrites au chapitre 24.

La téléphonie sur IP

La parole sur les réseaux IP a été abordée au chapitre 1 lors de l'examen du transport d'applications isochrones. La problématique du transport de la parole téléphonique dans des environnements IP est assez différente suivant que l'on est sur un réseau IP non contrôlé, comme Internet, ou sur un réseau permettant l'introduction d'un contrôle, comme le réseau privé d'une compagnie, de type intranet, ou celui d'un ISP.

Sur l'Internet de première génération, il faut que le réseau soit peu chargé pour que la contrainte de 300 ms soit respectée. Sur les réseaux intranet et ceux des fournisseurs d'accès à Internet, mais aussi ceux des opérateurs, le passage de la parole est possible à condition de contrôler le réseau pour que le temps total de transport, y compris la paquetsation et la dépaquetsation, soit limité.

De nombreuses solutions ont été proposées, comme VoIP (Voice over IP) de l'IMTC (International Multimedia Teleconferencing Consortium). Dans ces solutions, il a d'abord fallu définir un codeur normalisé. Le choix s'est généralement porté sur G.723, mais d'autres solutions sont opérationnelles, comme le codeur G.711. Le paquet IP doit être le plus court possible, et il faut multiplexer plusieurs voies de parole dans un même paquet, de façon à raccourcir le temps de remplissage et à limiter les temps de transfert dans le réseau. Si les routeurs peuvent gérer des priorités, ce qui est possible en utilisant des services de type DiffServ, la parole téléphonique est acheminée beaucoup plus facilement dans le laps de temps demandé.

Plusieurs organismes de normalisation, de droit ou de fait, travaillent sur ce sujet particulièrement prometteur. Dans les organismes de droit, l'ETSI, l'organisme de normalisation européen, a mis sur pied le groupe TIPHON (Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks). Le projet porte sur la parole et le fax entre utilisateurs connectés, en particulier sur des réseaux IP. Le cas où un utilisateur travaille sur un réseau IP et un autre sur un réseau à commutation de circuits, qu'il soit téléphonique, RNIS, GSM ou UMTS, entre également dans le cadre des études de TIPHON. Les activités de TIPHON concernent en outre la validation de solutions pour transporter la parole téléphonique par le biais de démonstrateurs. Il s'agit d'expériences en vraie grandeur visant à démontrer l'efficacité des solutions. L'ETSI travaille pour cela en collaboration avec l'UIT-T et l'IETF mais aussi avec les groupes IMTC et VoIP.

L'UIT-T travaille de son côté activement sur le problème de la téléphonie sur IP dans trois groupes du SG 16 (voir en annexe pour le détail des groupes de travail de l'UIT-T) : le WP1 pour les modems (série V), le WP2 pour les codecs (série G) et le WP3 pour les terminaux (série H). L'objectif de l'UIT-T est de développer un environnement complet et non pas simplement un terminal ou un protocole.

Au sein de l'IETF, de nombreux groupes de travail s'attaquent à des problèmes spécifiques, parmi lesquels :

- AVT (Audio Video Transport), qui utilise le protocole RTP (RFC 1889 et 1890) pour effectuer la communication en temps réel.
- MMUSIC (Multiparty Multimedia Session Control), qui utilise le protocole SIP, présenté en détail au chapitre 31 et que nous explicitons à nouveau un peu plus loin dans ce chapitre.

- IPTEL (IP Telephony), qui définit un protocole de localisation des passerelles et un langage permettant de mettre en communication des circuits et des flots IP.
- PINT (PSTN IP Internetworking), qui utilise également le protocole SIP.
- FAX (Fax over IP), qui stocke et émet des fax par l'intermédiaire de messages électroniques.
- MEGACO (Media Gateway Control), qui détermine un protocole entre une passerelle et son contrôleur.
- SIGTRAN (Signal Translation), qui propose l'utilisation du passage des commandes de la signalisation CCITT n° 7 dans des paquets IP.
- ENUM (E.164/IP translations), qui gère les translations d'adresses E.164 vers des adresses IP.

Respecter la contrainte temporelle est une première priorité pour le transport de la parole téléphonique. Une seconde priorité concerne la mise en place d'une signalisation pour mettre en connexion les deux utilisateurs qui veulent se parler.

Les protocoles de signalisation utilisés pour le transport et la gestion de la parole sous forme de paquets IP regroupent essentiellement H.323 et SIP (Session Initiation Protocol). Nous verrons en détail le protocole H.323 au chapitre suivant. Ce protocole a été défini dans un environnement de télécommunications, à la différence de SIP, qui provient de l'informatique et plus spécifiquement du Web. SIP peut utiliser le code HTTP ainsi que la sécurité qui y est liée. Il peut en outre s'accommoder des pare-feu de protection. SIP met en place des sessions, qui ne sont que des appels téléphoniques entre un client et un serveur. Six primitives HTTP sont utilisées pour cela : INVITE, BYE, OPTIONS, ACK, REGISTER et CANCEL.

La VoIP devient peu à peu une application classique grâce aux possibilités de numérisation et à la puissance des PC, qui permettent d'annuler les échos. L'élément le plus contraignant reste le délai, surtout lorsqu'il faut traverser des terminaux de type PC, des modems, des réseaux d'accès, des passerelles, des routeurs, etc.

On peut considérer que le PC demande un temps de traversée d'une centaine de millisecondes, le modem de quelques dizaines de millisecondes, la passerelle également d'une centaine de millisecondes et le réseau IP de quelques dizaines de millisecondes. Le total montre que la limite des 300 ms pour avoir une interactivité est rapidement atteinte. Si l'on dépasse les 150 ms de transit et que l'on s'approche des 300 ms, la qualité de la communication s'en ressent, comme lors d'une conversation par satellite.

Détaillons la mise en place de la communication. Il faut utiliser une signalisation pour mettre en place la session. Premier élément, la localisation du récepteur (User Location) s'effectue par une mise en correspondance de l'adresse du destinataire (adresse IP ou téléphonique classique) en une adresse IP. Le protocole DHCP et les passerelles spécialisées sont des éléments de solution pour déterminer les adresses des récepteurs. L'établissement de la communication passe par une acceptation du terminal destinataire, que ce soit un téléphone, une boîte vocale ou un serveur Web. Comme nous l'avons vu, plusieurs protocoles de signalisation peuvent être utilisés, comme H.323, de l'UIT-T, SIP ou SDP, de l'IETF.

Les protocoles de signalisation

Nous avons déjà examiné en détail le protocole SIP au chapitre 31. Rappelons quelques éléments de ce protocole avant d'aborder SDP et surtout RTP-RTCP.

Comme son nom l'indique, SIP (Session Initiation Protocol) est utilisé pour initialiser la session. Une requête SIP contient un ensemble d'en-têtes qui décrivent l'appel, suivis du corps du message, contenant la description de la demande de session. SIP est un protocole client-serveur, qui utilise la syntaxe et la sémantique de HTTP. Le serveur gère la demande et fournit une réponse au client.

Trois types de serveurs gèrent différents éléments : un serveur d'enregistrement (Registration Server), un serveur relais (Proxy Server) et un serveur de redirection (Redirect Server). Ces serveurs travaillent à trouver la route. Le serveur proxy détermine le prochain serveur (Next-Hop Server), qui, lui-même, trouve le suivant, et ainsi de suite. Des champs supplémentaires de l'en-tête précisent les options, comme le transfert d'appel ou la gestion de conférence téléphonique.

Le protocole SDP (Session Description Protocol) est utilisé pour décrire les sessions multimédias pour la partie téléphonique mais aussi pour d'autres applications distribuées, comme la radio sur Internet.

SDP permet le transfert de nombreuses informations, notamment les suivantes :

- flots correspondant aux médias de l'application ;
- pour chaque flot, adresse de destination, unicast ou multicast ;
- pour chaque flot, numéro de port UDP ;
- type de charge transportée ;
- instants de synchronisation (par exemple, l'instant de début d'un programme de télévision diffusée) ;
- origine de la demande de communication.

Le protocole RTP (Real-time Transport Protocol) prend le relais pour le transport de l'information proprement dite (*voir le chapitre 18*). Son rôle est d'organiser les paquets à l'entrée du réseau et de les contrôler à la sortie pour reformer le flot avec ses caractéristiques (synchronisme, perte, etc.). C'est un protocole qui travaille au niveau transport et essaye de corriger les défauts apportés par le réseau.

Les fonctions de RTP sont les suivantes :

- Le séquençement des paquets par une numérotation permettant de détecter les paquets perdus, ce qui est essentiel pour la recomposition de la parole. La perte d'un paquet n'est pas en soi un problème, s'il n'y en a pas trop de perdus. En revanche, repérer qu'un paquet a été perdu est impératif car il faut en tenir compte et éventuellement le remplacer par une synthèse déterminée en fonction des paquets précédant et suivant.
- L'identification de ce qui est transporté dans le message pour permettre, par exemple, une compensation en cas de perte.
- La synchronisation entre médias, grâce à des estampilles.

- L'indication de tramage. Les applications audio et vidéo sont transportées dans des trames dont la dimension dépend des codecs effectuant la numérisation. Ces trames sont incluses dans les paquets pour être transportées et doivent être récupérées facilement au moment de la dépaquetisation afin que l'application soit décodée simplement.
- L'identification de la source. Dans les applications en multicast, l'identité de la source doit être déterminée.

RTP utilise le protocole RTCP (Real-Time Control Protocol) pour transporter les informations supplémentaires suivantes pour la gestion de la session :

- Retour de la qualité de service lors de la demande de session. Les récepteurs utilisent RTCP pour renvoyer vers les émetteurs des rapports sur la QoS. Ces rapports comprennent le nombre de paquets perdus, la gigue et le délai aller-retour. Ces informations permettent à la source de s'adapter, c'est-à-dire, par exemple, de modifier le degré de compression pour maintenir la QoS.
- Synchronisation supplémentaire entre médias. Les applications multimédias sont souvent transportées par des flots distincts. Par exemple, la voix et l'image, ou même une application numérisée sur plusieurs niveaux hiérarchiques, peuvent voir les flots générés suivre des chemins distincts.
- Identification. Les paquets RTCP contiennent des informations d'adresse, comme l'adresse d'un message électronique, un numéro de téléphone ou le nom d'un participant à une conférence téléphonique.
- Contrôle de la session. RTCP permet aux participants d'indiquer leur départ d'une conférence téléphonique (paquet Bye de RTCP) ou simplement une indication de leur comportement.

Le protocole RTCP demande aux participants de la session d'envoyer périodiquement ces informations. La périodicité est calculée en fonction du nombre de participants à l'application.

Un autre protocole utilisable est RTSP (Real-Time Streaming Protocol), dont le rôle est de contrôler une communication entre deux serveurs où sont stockées des informations multimédias audio et vidéo. RTSP offre des commandes assez semblables à celles d'un magnétoscope, telles que avance, avance rapide, retour, pause, etc. Ce protocole peut être très utile dans le cadre de la téléphonie sur IP en permettant l'enregistrement d'une téléconférence pour la réentendre ultérieurement, la vision d'une séquence vidéo, l'enregistrement de message téléphonique, etc.

Un autre point important pour réaliser la communication de l'émetteur vers le récepteur concerne les fonctionnalités de la passerelle permettant de passer d'un réseau à transfert de paquets à un réseau à commutation de circuits, avec les problèmes d'adressage, de signalisation et de transcodage que cela pose. Ces passerelles se démultiplient entre ISP et opérateurs télécoms.

Pour finaliser l'ouverture d'un appel, le protocole SIP envoie une requête à la passerelle. Le premier problème est de déterminer quelle passerelle est capable de réaliser la liaison circuit pour atteindre le destinataire. En théorie, chaque passerelle peut appeler n'importe quel numéro de téléphone. Cependant, pour réduire les coûts, il vaut mieux choisir une passerelle locale.

Les réseaux de téléphonie IP d'entreprise

Les réseaux de téléphonie d'entreprise utilisant le protocole IP sont disponibles sur le marché depuis le début des années 2000. L'objectif de ces réseaux est d'intégrer le réseau de données et le réseau téléphonique en un seul et même réseau. La norme IP est bien sûr à la base de cette intégration.

La parole téléphonique est numérisée, et les octets sont mis dans des paquets IP les plus courts possibles afin qu'il n'y ait pas trop de perte de bande passante. La compression de la parole avec G.729, par exemple, qui est très utilisé, donne naissance à des trames de 16 octets toutes les 16 ms. Si l'on veut de la qualité, il faut s'arrêter à cette valeur de 16 octets par paquet IP. Les paquets IP sont transportés avec la contrainte de 150 ms de délai jusqu'au poste du destinataire.

Dans l'entreprise, on utilise des trames Ethernet pour effectuer le transport. On place donc le paquet IP dans une trame Ethernet, qui possède une longueur de 64 octets. Au débit de 8 Kbit/s du codec G.729 correspond un débit de 32 Kbit/s sur le réseau Ethernet. Si l'on utilise un réseau Gigabit Ethernet, la trame minimale est de 512 octets, et le débit d'une seule parole téléphonique devient de 256 Kbit/s.

Pour la contrainte temporelle à respecter, il ne faut perdre aucun temps. Le premier point où des pertes de temps sont possibles provient potentiellement du traitement du son, effectué par une carte son dans un PC si le PC est utilisé comme téléphone. Ces cartes son ont généralement un temps de réaction très lent, de l'ordre d'une quarantaine de millisecondes, ce qui est inacceptable. Il faut donc utiliser des téléphones spécifiques, que l'on appelle téléphones IP. Un téléphone IP est un routeur qui encapsule directement les octets dans un paquet IP. Ce routeur possède des sorties Ethernet de façon que le téléphone puisse se connecter directement sur le réseau de l'entreprise. La figure 35.4 illustre un téléphone IP.

Figure 35.4
Téléphone IP



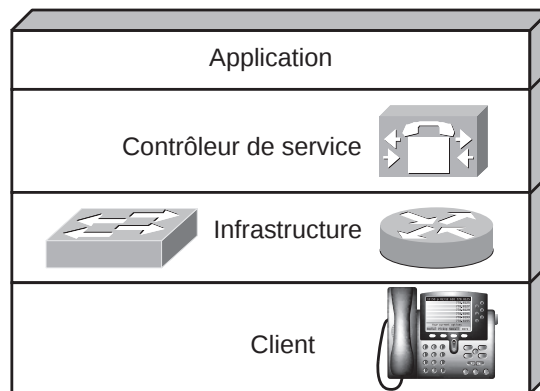
Toujours pour perdre le moins de temps possible dans le transport, le réseau ne doit posséder aucun réseau Ethernet partagé, le partage engendrant une perte de temps importante. Il faut donc utiliser uniquement des réseaux Ethernet commutés, si possible au débit de 100 Mbit/s, pour être sûr que le débit des paroles superposées ne pose pas de problème. Enfin, il faut que les paquets IP ou les trames portant les paquets IP de parole soient prioritaires partout dans le réseau d'entreprise. Pour cela, il faut se servir, par exemple, des priorités de type DiffServ au niveau paquet et des priorités de niveau trame dans Ethernet. Les priorités de niveau 2 correspondent à la norme IEEE 802.1p, qui définit un champ de 3 bits pour gérer jusqu'à huit classes de priorités.

Mise en œuvre de la téléphonie sur IP

Après avoir évoqué les caractéristiques principales des protocoles supportant la téléphonie sur IP, nous décrivons dans cette section le processus à suivre pour installer une téléphonie sur IP, ou ToIP (Telephony over IP), dans une entreprise possédant plusieurs sites. Les éléments à prendre en compte doivent suivre une architecture à quatre niveaux, comme illustré à la figure 35.5.

Figure 35.5

Architecture d'un réseau de téléphonie sur IP



Un réseau d'entreprise assez standard est décrit à la figure 35.6. Il contient deux sites, l'un principal et l'autre secondaire. Le réseau est composé d'un réseau local dans chaque site. Les deux réseaux locaux sont reliés par un réseau WAN, qui peut-être, par exemple, un réseau privé virtuel. Ce réseau est composé de commutateurs Ethernet formant un réseau local Ethernet commuté. Sur ce réseau local, on trouve aussi bien des téléphones IP que des stations de travail. Les stations de travail peuvent être connectées aux téléphones IP ou directement au commutateur Ethernet. Les deux réseaux locaux Ethernet commutés sont connectés à des routeurs d'entrée-sortie de l'entreprise, et les deux routeurs sont reliés entre eux par un réseau étendu, par exemple un réseau privé virtuel d'opérateur.

En remontant l'architecture par le bas, nous trouvons tout d'abord les téléphones IP. Ce sont des routeurs de niveau 3 capables d'encapsuler des octets de téléphonie. Les postes de travail peuvent également être utilisés comme téléphones, mais il faut faire

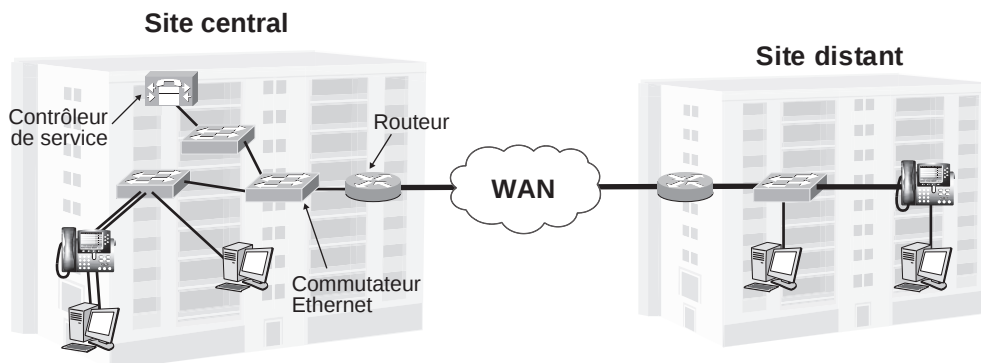


Figure 35.6

Réseau intégrant la téléphonie sur IP

attention à ce que la carte son soit de bonne qualité pour ne pas trop retarder la mise en paquet des octets téléphoniques. Ces postes de travail un peu spécifiques sont connectés par Ethernet, généralement à 100 Mbit/s, avec la priorité disponible la plus haute. La zone DSCP du paquet IP est positionnée sur la classe de service EF (Expedited Forwarding), et le paquet est encapsulé dans une trame Ethernet de priorité la plus haute, cette priorité étant indiquée par la zone IEEE 802.1p. Les autres machines, qui ne produisent pas de la parole, ou plus précisément les autres applications positionnent le DSCP à une valeur AF ou BE moins forte que celle utilisée pour la téléphonie sur IP. L'entreprise doit donc se munir de routeurs DiffServ capables de traiter la priorité au niveau IP et de commutateurs Ethernet capables de gérer les classes de priorités IEEE 802.1p.

Si la valeur du DSCP est normalisée, celle du champ IEEE 802.1p l'est beaucoup moins. Tout d'abord, ce champ ne contient que 3 bits de priorité, ce qui donne naissance à 8 classes de priorités, alors que DiffServ en comporte 14. Ensuite, il faut vérifier que les équipementiers suivent les mêmes règles pour déterminer la valeur du champ IEEE 802.1p. Toujours au niveau du transport, il faut faire une évaluation du temps maximal de transit dans chaque site afin d'en déduire le temps maximal de traversée du réseau WAN. Une fois cette valeur connue, il est possible de déduire le temps maximal de transit dans le réseau. L'entreprise doit alors négocier un SLA avec son opérateur et lui demander que cette contrainte soit satisfaite dans la partie technique, c'est-à-dire le SLS. La valeur maximale du temps de transit se situe généralement autour de 50 ms.

En passant à la couche supérieure, il faut introduire un contrôleur de service capable de déclencher les processus de recherche du correspondant et d'initialiser la signalisation permettant l'ouverture de la session. Le contrôleur de service peut être centralisé sur un seul site, même si les deux sites sont assez distants. Ce contrôleur de service peut gérer un grand nombre de services, tels que la téléphonie, les passerelles, les ports TAPI (Telephony API) et JTAPI (Java TAPI), la messagerie, les conférences, etc. Ce contrôleur de communication peut éventuellement prendre en charge des terminaux analogiques de générations précédentes ou des lignes de sortie plus classiques allant vers un opérateur de téléphonie fixe.

Les applications de téléphonie sur IP grand public

Une première application de téléphonie sur IP grand public est proposée par les opérateurs de téléphonie pour offrir des communications internationales à tarif local. Elle consiste à rassembler un grand nombre de voies téléphoniques classiques et à les encapsuler dans un même paquet IP, qui peut devenir assez long. L'utilisateur se connecte en local sur un point de présence d'un opérateur IP, lequel multiplexe toutes les voies téléphoniques sur une même liaison IP, transatlantique par exemple. À la sortie de la liaison IP transatlantique, la parole recouvre sa composition normale et est envoyée de façon classique au destinataire.

Des applications grand public telles que Skype ou MNS (Microsoft Network Service) proposent de la téléphonie sur IP de bout en bout. Pour cela, il faut généralement passer par un modem ADSL aux deux extrémités de la communication afin que le débit soit accepté sur la boucle locale. Skype fait appel à une technique P2P pour rester le plus simple possible et ne pas avoir de contrôle centralisé. La signalisation de MNS est quant à elle gérée par une base de données centralisée mais qui peut être distribuée sur plusieurs sites.

Évolution des PABX

Les PABX sont les autocommutateurs téléphoniques qui gèrent les communications téléphoniques de type circuit. Leur évolution s'est accélérée au cours des quinze dernières années pour aboutir aujourd'hui à la quatrième génération. Ces différentes générations se sont enrichies d'une multitude de services et offrent désormais la possibilité de transmettre des données. Après un développement assez anarchique, la mise en place d'un réseau de communication entre PABX hétérogènes est devenue indispensable aux grandes entreprises. Cette communication entre PABX s'est concrétisée par la normalisation des échanges entre autocommutateurs.

L'environnement PABX s'est enrichi d'une extension lui permettant de prendre en charge des services évolués, comme le télémarketing ou la gestion des appels par menu grâce à l'association de processeurs informatiques. Nous présentons à la fin de ce chapitre cette intégration de la téléphonie et de l'informatique, appelée CTI (Computer Telephony Integration).

Les autocommutateurs privés

Un autocommutateur assure une liaison temporaire entre deux lignes d'abonnés (communication locale) ou entre une ligne d'abonné et une jonction allant vers un autre autocommutateur. L'autocommutateur se subdivise en deux sous-ensembles principaux : le réseau de connexion, à travers lequel s'effectue la connexion, et les organes de commande, qui effectuent les différents dialogues permettant l'établissement de la communication.

Fonctionnellement, on peut distinguer :

- les équipements individuels de ligne permettant le raccordement des postes téléphoniques ou des circuits ;

- le réseau de connexion ;
- l'unité de commande qui gère la traduction, la maintenance, les équipements de signalisation, etc. ;
- les organes de collecte et de distribution de la signalisation voie par voie ;
- les organes de collecte et de distribution de la signalisation par canal sémaphore.

Le numéro de l'appelé est la seule source d'information pour l'autocommutateur. Ce numéro doit être analysé, ou traduit, en fonction du plan de numérotation. En règle générale, un premier chiffre indique que l'appelé est sur le même PABX que l'appelant. Les chiffres suivants désignent la ligne correspondant à l'appelé. Si le premier chiffre ne correspond pas au chiffre de l'autocommutateur, cela signifie que l'appelé est situé sur un autre autocommutateur. Dans ce cas, les premiers chiffres représentent le numéro de l'autocommutateur de l'appelé, et les derniers la ligne correspondant à l'appelé.

Cette architecture peut devenir plus complexe si l'on ajoute de nouvelles fonctionnalités, telles que des interfaces avec les réseaux locaux, des applications de messagerie vocale, etc. Un exemple de PABX IP avec des fonctionnalités de connexion à de la téléphonie classique est détaillé à la figure 35.7.

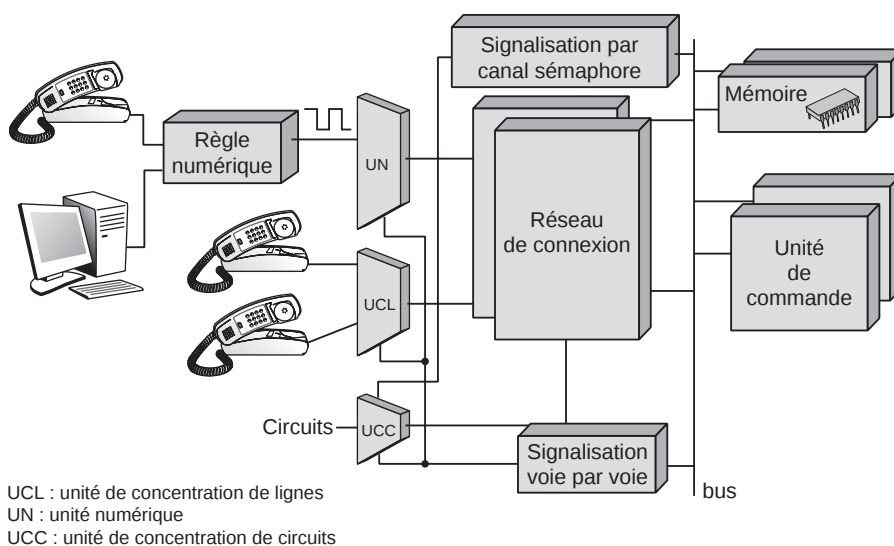


Figure 35.7

Architecture générale d'un PABX

Un commutateur temporel permet d'émettre des voies entrantes dans un ordre quelconque sur les voies du multiplex de sortie. Il est constitué d'une mémoire tampon recevant les IT (intervalles de temps) entrants et d'une mémoire de commande gérant la mémoire tampon. On distingue les commutateurs à commande aval et ceux à commande amont.

En mode de commande aval, les IT sont inscrits au fur et à mesure dans la mémoire tampon. La mémoire de commande contient à chaque instant l'adresse, en mémoire tampon, de l'échantillon à transmettre sur le multiplex de sortie. Si l'IT_i entrant doit être connecté à l'IT_j sortant, les octets de données entrant sur l'IT_i doivent être envoyés sur l'IT_j en sortie.

En mode de commande amont, les IT entrants sont inscrits dans la mémoire tampon, sous le contrôle de la mémoire de commande, dans l'ordre où ils sont lus avant d'être envoyés sur le multiplex de sortie. Ainsi, le mot *i* de la mémoire de commande contient l'adresse *j* où inscrire l'IT_i entrant.

Les différentes générations de PABX

Issu de la technologie électromécanique, le type le plus ancien de commutateur privé a duré près de cent ans. La première génération de commutateurs électroniques est apparue dans les années 60. La commutation est pilotée par un calculateur universel, et le réseau de connexion est de type spatial. Le raccordement au réseau public s'effectue *via* des groupements de lignes analogiques.

Dans un commutateur spatial, électronique ou électromécanique, l'établissement et la libération d'une communication se font respectivement par la mise en place et la rupture d'un certain nombre de points de connexion. Une fois un itinéraire établi, il sert de support exclusif à une seule communication.

La deuxième génération, datant du milieu des années 70, offre la commutation de données, mais la voix et les données se trouvent sur des lignes séparées. L'interface avec les terminaux reste analogique. Si le calculateur intégré gérant la commutation offre certaines fonctionnalités nouvelles, telles que la numérotation abrégée ou l'interdiction d'appeler l'international, ces dernières restent largement sous-employées (IBM 3750 et TBX de Philips) en raison d'une ergonomie médiocre. Le réseau de connexion est temporel, et les abonnés sont reliés entre eux par l'intermédiaire d'une ligne multivoie. Un intervalle de temps est régulièrement affecté à chaque connexion, ce qui simplifie le réseau.

La troisième génération correspond à l'avènement des réseaux numériques à intégration de services, au début des années 80. Elle est caractérisée par le multiplexage de la voix et des données sur la même porte du PABX, soit sur une même paire torsadée, soit sur deux. La transmission est généralement analogique. Le PABX étant entièrement numérique, des codecs équipent ses portes. La commutation est de type temporel, mais les voix et les données sont traitées différemment dans le PABX. Ces commutateurs offrent également des interfaces numériques à 64 Kbit/s, où peuvent se connecter divers terminaux et téléphones numériques. Le raccordement au réseau public devient lui aussi numérique grâce à des liaisons MIC (modulation par impulsion et codage) à 2 Mbit/s. Ces liaisons autorisent la sélection directe à l'arrivée et permettent aux centraux publics d'envoyer au PABX des informations relatives au coût de la communication (taxation), qui peuvent donc être retransmises à l'utilisateur au cours de la communication.

Une troisième génération et demie, de conception modulaire, est apparue au début des années 90. Elle associe un commutateur de circuits à 64 Kbit/s et un commutateur de paquets X.25 ou relais de trames, chacun ayant son propre processeur. Ainsi, les variations du trafic de données ne pénalisent pas la qualité des services téléphoniques.

La quatrième génération est intervenue avec les PABX-IP, au milieu des années 90, pour gérer des flux de paquets IP. Il est possible de connecter à la fois des téléphones numériques, les octets étant paquetisés dans des paquets IP, et des téléphones IP, qui envoient directement des paquets IP.

Une cinquième génération est à l'étude avec un cœur complètement IP. Cette génération ressemble à maints égards aux routeurs IP avec des signalisation SIP ou H.323.

PABX et transmission de données

Le débat en cours depuis quelques années sur les rôles respectifs des PABX et des LAN (réseaux locaux) dans la communication d'entreprise est aujourd'hui clos, les deux réseaux étant considérés comme complémentaires. Le PABX est parfaitement adapté au transport de la voix (64 Kbit/s/ligne), mais il peut également transporter des données à faible débit (jusqu'à 256 Kbit/s par ligne en interne). Le réseau local est adapté au transfert de données haut débit (10 Mbit/s pour un réseau Ethernet) mais pas à celui de la voix, du fait de contraintes temporelles trop strictes, sauf exception. Le tableau 35.1 récapitule les caractéristiques comparées des PABX et des réseaux locaux.

	PABX	Réseau local
Architecture	Étoile	Étoile/bus/anneau
Support	Paire téléphonique	Paire téléphonique, coaxial, fibre
Mode de transmission	Analogique, numérique	Bande de base, large bande
Méthode d'accès	Circuit, paquet	CSMA/CD, jeton (bus/anneau)
Débit maximal	64 et 144 Kbit/s	De 50 à 1 000 Mbit/s
Capacité	10 à 6 000 terminaux	10 à 10 000 terminaux
Connexion aux réseaux publics	Multifréquence, numérique	Problèmes d'interface
Normalisation	De fait	Ethernet, Token-Ring

TABLEAU 35.1 • Comparaison des PABX et des réseaux locaux

Pour satisfaire les besoins des utilisateurs, les deux techniques de commutation, paquet et circuit, doivent pouvoir être offertes sur les PABX. La première optimise les circuits physiques en y multiplexant plusieurs communications tandis que la seconde permet des débits élevés.

Les communications en mode circuit se font soit par modem, soit par intégration dans un raccordement numérique. L'accès d'un système informatique au service de circuits s'effectue par le biais d'un adaptateur de terminal chargé d'adapter la vitesse du terminal à celle du circuit (64 Kbit/s) et de supporter la fonction d'établissement de la communication. Les normes V.110 ou ECMA 102 sont utilisées pour l'adaptation de la vitesse et X.21 pour l'interface d'accès.

De même, les communications en mode paquet se font soit par modem, soit par intégration dans un raccordement numérique. Les relations entre terminaisons de standards différents sont automatiquement établies. Le PABX peut aussi établir en mode circuit une relation entre un terminal et un équipement de passerelle, lequel, selon les modèles, est situé dans le PABX.

Aujourd'hui, on distingue deux types d'architecture de PABX. Le premier privilégie la commutation de circuits pour le raccordement de terminaux. Les accès en transmission de données sont traités comme des communications téléphoniques, le PABX ayant alors

surtout un rôle de concentrateur de terminaux. L'optimisation du câblage est atteinte par l'utilisation des câbles téléphoniques pour le transfert des données.

Cette solution est plutôt destinée aux entreprises ayant peu de postes de travail informatiques par rapport aux téléphones ou qui emploient des applications à faible taux d'utilisation. Elle nécessite la mise en place d'un réseau local en cas de transmission de données importantes.

Certains commutateurs peuvent accéder à des réseaux locaux. C'est le cas des autocommutateurs munis d'une URM (unité de raccordement multiservice). Celle-ci peut recevoir des cartes d'interface pour permettre à un terminal asynchrone d'accéder à un réseau. De même, certains PABX sont dotés d'un interfaçage Ethernet. Chaque carte Ethernet peut supporter 24 connexions, et plusieurs cartes peuvent être installées en parallèle. Cet équipement permet le raccordement d'un système, *via* un câblage en paire torsadée, à un débit à 10 ou 100 Mbit/s.

Le second type d'architecture entraîne également la cohabitation PABX-LAN, les deux étant fournis cette fois par le même équipementier. Le LAN et le PABX sont alors reliés par une passerelle. Celle-ci permet à un utilisateur occasionnel, connecté au PABX, d'accéder à l'ensemble des ressources informatiques raccordées au LAN. De même, un utilisateur du LAN atteint les serveurs connectés au PABX et les réseaux publics raccordés à celui-ci. Ce type d'architecture profite pleinement de la complémentarité PABX-LAN et du plan de câblage unique.

La signalisation entre PABX

La signalisation entre les PABX peut se faire soit par voie ou par canal sémaphore. Jusqu'à présent, la première méthode est la plus utilisée. L'information utile et la signalisation empruntent les mêmes circuits physiques dans le réseau. Une bande de fréquences est réservée en mode spatial et 1 octet en mode temporel. Dans ce mode temporel, les paroles téléphoniques sont transportées dans des octets, et un octet particulier est réservé à la signalisation, par exemple l'octet transporté dans l'intervalle de temps Numéro 16 d'une communication en mode MIC (modulation, impulsion et codage).

La seconde méthode est caractérisée par l'utilisation d'un réseau de signalisation séparé du réseau transportant le trafic utile. Les informations relatives à chaque appel sont échangées sous forme de messages transportés par un canal annexe de transmission de données, commun à tout un groupe de circuits. Il y a quelques années, cette signalisation était propre à chaque constructeur. On compte aujourd'hui une centaine de types de signalisation privée inter-PABX, dont aucune n'est normalisée. Les organismes de normalisation ont par la suite proposé le protocole D, du nom du canal de signalisation dans lequel il est mis en œuvre, pour permettre la communication entre PABX hétérogènes et une gestion du réseau (réacheminement et reconfiguration en cas de surcharge de trafic ou de défaillance d'un commutateur, etc.). Adapté par l'ECMA (European Computer Manufacturers Association), ce protocole a été normalisé par l'ETSI sous le nom de Q-SIG (141 et 143). Cette norme s'aligne sur le protocole Q.932 de l'UIT-T utilisé pour l'interconnexion des autocommutateurs privés et des centraux publics.

Les caractéristiques principales du protocole de signalisation, que ce soit Q-SIG ou Q.932, sont les suivantes :

- Gestion des communications de type circuit ou paquet.
- Capacité à transmettre des informations de nature différente (signalisation, téléaction, maintenance, etc.).
- Fiabilité, due à l'emploi de méthodes efficaces de détection et de correction d'erreur grâce à l'utilisation d'une signalisation de type transmission de données.
- Extension du vocabulaire de la signalisation : il suffit pour toute nouvelle application d'indiquer aux logiciels des calculateurs l'élaboration et l'interprétation des nouveaux messages.

Parallèlement aux travaux de l'ECMA, un groupe de constructeurs, mené par Alcatel et Siemens, a fondé le forum IPNS (ISDN PBX Networking Standard), dont l'objectif est la normalisation des compléments de services offerts par les protocoles propriétaires. L'utilisation d'un protocole normalisé tel que Q-SIG devrait permettre de rassembler au sein d'un même réseau des PABX de constructeurs différents. Rappelons que la procédure CCITT n° 7 est le protocole choisi pour la signalisation entre commutateurs du RNIS. Ce protocole de signalisation n'est pas accessible par l'utilisateur, l'interfonctionnement avec le protocole Q-SIG se faisant dans les commutateurs d'abonnés.

L'intégration téléphonie-informatique

L'intégration de la téléphonie et de l'informatique n'est pas une nouveauté. Prévue depuis longtemps, la nécessité de cette alliance a commencé à se faire sentir dans les produits à partir de 1995. Cette intégration, qui a pris le nom de CTI, est née d'un groupe de travail sur le CSTA (Computer Supported Telephony Applications), et c'est l'ECMA qui a pris les choses en main en créant le groupe de travail TG11.

Un premier rapport a décrit les objectifs du CSTA :

- téléphonie évoluée (messagerie vocale, accès divers au réseau, téléconférence téléphonique, etc.) ;
- télémarketing ;
- service de clientèle ;
- micro-ordinateur comme centre de communication ;
- service de contrôle et d'alarme ;
- accès aux données de l'entreprise.

Ces services s'obtiennent par l'adjonction d'un équipement supplémentaire, qui s'interconnecte au PABX par une liaison CTI. Les terminaux sont connectés à ce serveur de téléphonie, tandis que les combinés téléphoniques continuent, bien sûr, à être connectés au PABX.

Éditeurs de logiciels et constructeurs de produits CTI

Les principales entreprises qui commercialisent des interfaces de programmation ou des produits de CTI sont les suivantes :

- Microsoft et Intel, avec l'interface TAPI (Telephony API) ;
- Novell, avec l'interface TSAPI (Novell Telephony Server API) ;
- Dialogic's, avec Dialogic's CT-Connect ;
- IBM Callpath ;
- Sun XTL Teleservice ;
- Hewlett Packard ACT ;
- Tandem CAM.

Tous ces produits de CTI visent à permettre au client qui téléphone d'atteindre l'agent capable de lui répondre par une synthèse vocale, par fax ou par tout autre solution viable. Ils visent également à mettre en mémoire les réponses d'un utilisateur.

Regardons d'un peu plus près l'interface de programmation TAPI de Microsoft-Intel, qui fait partie de l'architecture WOSA (Windows Open Services Architecture) de Microsoft. Plus exactement, WOSA est une plate-forme qui intègre les différents logiciels destinés aux applications du système d'information d'une entreprise. Outre l'application TAPI, WOSA contient ODBC (Open DataBase Connectivity), MAPI (Messaging Application Programming Interface), LSAPI (Licensing Server Application Program Interface), ainsi que des services de communication, comme le RPC de Microsoft.

TAPI est une interface générique d'appel de services. Trois objets ont été définis :

- L'objet ligne, qui caractérise la configuration et les numéros d'appel.
- L'objet appel, qui représente la mise en liaison avec le correspondant.
- L'objet téléphone, qui définit la configuration statique et les caractéristiques des combinés.

L'évolution de la CTI consiste en son intégration dans un environnement Internet permettant une connectivité totale de tous les éléments nécessaires à la vie d'une entreprise. Il devient dès lors possible de mettre en place des stratégies extrêmement évoluées d'utilisation des communications téléphoniques arrivant dans l'entreprise. De plus, il est relativement simple d'évoluer vers le multimédia.

Une des avancées immédiates provient des boîtes aux lettres universelles, capables de gérer toutes sortes de messages, de paroles, de fax, d'e-mail, etc. Il est possible, par exemple, d'effectuer une synthèse de parole à partir d'un e-mail ou d'un fax, de traduire une parole en fax, etc.

En résumé, l'association de la téléphonie et de l'informatique est en train de s'imposer par le biais de logiciels grand public. Cette intégration commence à faire partie de la vie de tous les jours.

Conclusion

Ce chapitre a effectué un bref tour d'horizon de la téléphonie en paquet et plus particulièrement de la téléphonie sur IP.

L'arrivée de la téléphonie sur IP est inéluctable étant donné le gain financier procuré en quelques années par l'intégration des réseaux de données et de paroles téléphoniques. La téléphonie est cependant une application particulièrement difficile à mettre en œuvre du fait de son temps réel et de son flux continu. Pour le moment, les solutions consistent surtout à surdimensionner les équipements et les liaisons en ne tenant compte que des clients effectuant de la téléphonie sur IP.

Références

La téléphonie a beaucoup changé en quelques années. En particulier, les PABX se transforment en équipements de réseau IP. Le livre suivant décrit cette évolution.

J. R. ABRAHAMS, M. LOLLO – *CENTREX or PBX: The Impact of Internet Protocol*, Artech House, 2003

Un livre général sur la téléphonie sur IP. Pour ceux qui veulent commencer à entrer dans ce sujet :

U. BLACK – *Voice Over IP*, Prentice Hall, 2002

Un autre livre introductif à la téléphonie sur IP :

K. CAMP – *IP Telephony Demystified*, McGraw-Hill, 2002

VOCAL (the Vovida Open Communication Application Library) est un logiciel libre pour les environnements de téléphonie IP beaucoup utilisé. Ce livre en donne les secrets.

L. DANG, C. JENNINGS, D. KELLY – *Practical VoIP Using VOCAL*, O'Reilly, 2002

Un excellent livre sur les protocoles de signalisation utilisés dans la téléphonie, complété par la description des fonctions à mettre en œuvre, comme la qualité de service et la sécurité :

J. F. DURKIN – *Voice-Enabling the Data Network: H.323, MGCP, SIP, QoS, SLAs, and Security*, Pearson Education, 2002

Un ouvrage très intéressant sur l'intégration informatique et les PABX :

S. GHERNAOUTI-HÉLIE, A. DUFOUR – *Ingénierie des réseaux locaux d'entreprise et des PABX*, Masson, 1995

La téléphonie sur les accès xDSL est devenue presque classique. Pour bien en comprendre les tenants et les aboutissants, il faut lire le livre suivant :

R. GRIGONIS – *Voice Over DSL*, CMP Books, 2002

Excellent livre technique pour comprendre et mettre œuvre de la téléphonie sur IP :

W. C. HARDY – *VoIP Service Quality: Measuring and Evaluating Packet-Switched Voice*, McGraw-Hill, 2003

Un petit livre très bien documenté sur la mise en place d'un environnement de téléphonie sur IP:

L. Harte, D. Bowler – *Introduction to SIP IP Telephony Systems : Technology Basics, Services, Economics, and Installation*, Althos, 2004

Le dimensionnement des organes du commutateur, en fonction des flux d'entrée, est un problème très complexe posé par les autocommutateurs. L'excellent livre suivant fait le point sur la question :

G. HÉBUTERNE – *Écoulement du trafic dans les autocommutateurs*, Masson, 1985

Un livre dédié à SIP (Session Initiation Protocol) :

A. JOHNSTON – *SIP: Understanding the Session Initiation Protocol*, Artech House, 2003

Pour comprendre le passage de la téléphonie classique à la téléphonie IP, il faut lire le livre suivant, qui en donne toutes les caractéristiques :

M. A. MILLER – *Voice Over IP Technologies: Building the Converged Network*, Wiley, 2002

Un livre supplémentaire sur la téléphonie sur IP, peut-être un peu loin du concret :

D. MINOLI, E. MINOLI – *Delivering Voice over IP Networks*, Wiley, 2002

La solution AVVID est celle de CISCO. Elle est fortement orientée vers la pure téléphonie sur IP :

M. NELSON, A. SMITH, D. DEEL – *Developing Cisco IP Phone Services: A Cisco AVVID Solution*, Cisco Press, 2002

Les softswitchs sont à la mode depuis quelque temps avec pour objectif de remplacer le matériel de type PABX par du logiciel :

F. OHRTMAN – *Softswitch: Architecture for VoIP*, McGraw-Hill, 2002

La téléphonie sur IEEE 802.11 commence à se développer. C'est un prolongement de la téléphonie d'entreprise sur IP. Les problèmes sont spécifiques et explicités dans le livre suivant :

F. OHRTMAN – *Voice over 802.11*, Artech House, 2004

Un excellent livre sur la téléphonie sur Internet :

J. PULVER – *The Internet Telephone Toolkit*, Wiley, 1996

Un des livres de base sur l'intégration téléphone-données, qui décrit en détail les possibilités de l'interface CTI :

W. ROB – *Computer Telephone Integration*, Artech House, 1993

Ce livre décrit l'introduction d'applications multimédias dans l'environnement CTI :

W. ROB – *Computer Mediated Communications: Multimedia Application*, Artech House, 1995

Un livre spécialisé sur la signalisation et la commutation dans les réseaux pour y intégrer de la téléphonie :

M. STAFFORD – *Signaling and Switching For Packet Telephony*, Artech House, 2004

Un très bon livre explicatif sur le monde des PBX-IP :

A. SULKIN – *PBX Systems for IP Telephony*, McGraw-Hill, 2002

Livre très complet sur l'intégration informatique-téléphonie :

R. WALTERS – *Computer Telephony Integration*, Artech House, 1998