

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA

Sistema de Multidrop Digital en Modo ATM

Memoria presentada por:

Roland Haring Grote

Anexo 1: 1. Tecnología ATM

1.1 Aspectos de Rendimiento en redes ATM

Las redes ATM han sido diseñadas para transportar, a través de enlaces de altas tasas de transmisión, una amplia variedad de servicios. A pesar de que en ATM se procura usar eficientemente el canal de transmisión por multiplexión temporal, se ha acordado establecer el ancho de banda requerido por una fuente como medida del requerimiento de recursos de transmisión del canal. Uno de los principales objetivos de ATM es lograr una utilización eficiente del ancho de banda del enlace multiplexando estadísticamente todos estos servicios. Se entiende por multiplexión estadística a la capacidad de asignar según demanda el ancho de banda del canal de transmisión, es decir, no existen porciones de ancho de banda preasignadas. Cada uno de estos servicios tiene características de tráfico y requerimientos de calidad de servicio distintos, que tienen que ser considerados en forma independiente. Las características del tráfico de una fuente se expresan por ejemplo por su tasa de transmisión máxima, su tasa de transmisión media y su 'burstiness' (medida de la variación de la tasa de transmisión) [27]. La calidad de servicio se expresará principalmente en medidas de probabilidad de pérdida y retardos en el transporte de la información.

Arquitectura de Conmutadores y Equipos

Dado que la red ATM ha sido diseñada para operar a altas tasas de transmisión, el procesamiento de los paquetes en los equipos y conmutadores de la red debe ser rápido y eficiente. Para lograr estos objetivos, los protocolos y funciones deben ser suficientemente simples para poder ser implementados en tecnologías que permitan operar a estas velocidades.

Caracterización del tráfico y multiplexión estadística

El tráfico transportado por ATM puede ser de tasa de bits constante (CBR: Constant Bit Rate) o tasa de bits variable (VBR: Variable Bit Rate). Sólo las fuentes VBR pueden ser multiplexadas estadísticamente, y para ello se requiere caracterizarlas mediante un conjunto de parámetros de tráfico adecuados.

No se ha llegado aun a un consenso acerca de qué parámetros son los más adecuados para caracterizar el tráfico de cada servicio, y una de las mayores dificultades en ello es de que éstos deben poder ser especificados por cada usuario que desee utilizar la red (ver referencias en [53]).

Modos de conmutar la información en la red

La tabla que hace corresponder un identificador de entrada a uno de salida en un conmutador es llamada tabla de ruteo. Se entiende por conexión al intercambio de mensajes de un equipo con otro, basado en las direcciones de destino. En ATM se define como *canal virtual* (VC: Virtual Channel) a la conexión básica que se establece de extremo a extremo configurando adecuadamente las tablas de ruteo de los conmutadores de canal virtual intermedios. A cada conexión por canal virtual van asociados parámetros de tráfico y requerimientos de calidad de servicio esperada. Un

canal virtual es normalmente establecido durante el inicio de una conexión requerida por un usuario, y dura el tiempo de vida de ésta.

Las conexiones por *camino virtual* (VP: Virtual Path) corresponden a un agregado de conexiones por canal virtual (Fig.1.1) que son conmutadas como unidad. Estas conexiones son comúnmente establecidas en forma permanente o semipermanente por un administrador de la red, como una ruta explícita entre dos puntos de la red.

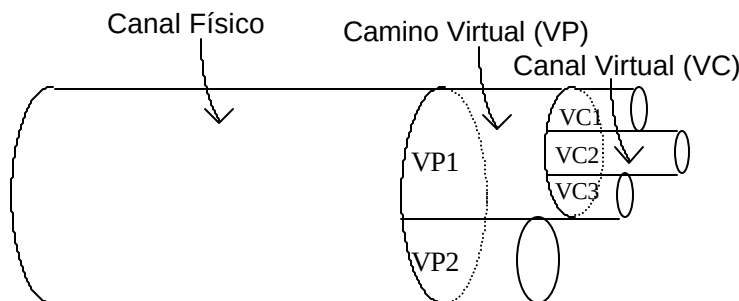


Fig.1.1 Transporte Lógico según camino y canal virtuales

Existen enlaces *sin conexión* [48], en que la conexión es transitoria y se establece únicamente para un conjunto de celdas pertenecientes a un mismo mensaje (fragmentado) de una capa superior.

También existen canales virtuales preasignados permanentemente, como por ejemplo el canal virtual de señalización e intercambio de información de control (SVC: Signaling Virtual Channel). La información de señalización y control, ya sea durante el establecimiento de una conexión o durante el curso de ésta, es realizada a través de esta conexión SVC, por la cual compiten todos los equipos de la red que desean hacer uso de ella en determinado instante, en forma análoga a como se comparte el medio de transmisión en redes de área local de acceso común [45, 46].

Control de Admisión

En multiplexión estadística el tráfico medio ofrecido al sistema es menor a la capacidad del canal, pero debido a variaciones estadísticas en el tráfico ofrecido, éste puede temporalmente exceder la capacidad del canal. Se define como período de congestión al tiempo durante el cual el tráfico ofrecido es mayor a la capacidad del canal.

El control de congestión en ATM se realiza principalmente en forma preventiva limitando el número de conexiones aceptadas mediante un control de admisión adecuado [1, 20, 61] y un control de flujo de información de las conexiones ya aceptadas.

Previo a ser admitida una conexión existe una negociación entre el extremo que solicita acceso a la red y el mecanismo de control de admisión de la red. Los parámetros negociados corresponden a las características de tráfico (tasas de transmisión máxima y media, duración máxima de ráfagas, etc) que la fuente promete respetar, y las condiciones de calidad de servicio (QoS) que la red se compromete a cumplir.

El *control de admisión* consiste en verificar si los requerimientos de recursos y calidad de servicio de la nueva conexión pueden ser garantizados por todos los nodos a través de los cuales fluiría la información de dicha conexión. Si estos requerimientos no pueden ser cumplidos, la nueva conexión es rechazada.

Control de Congestión

Debido a las altas tasas de transmisión a las que debe operar ATM, una vez aceptada una conexión el principal control de congestión tiene que ser del tipo preventivo [19, 20, 61]. Es por ello que la ubicación más apropiada para éste es antes de que la información de una fuente ingrese a la red, con el fin de poder 'vigilar' que la fuente se atenga a los parámetros negociados durante el establecimiento de la llamada. A este mecanismo de control preventivo se le denomina control de flujo ('policing').

El mecanismo de control de flujo más conocido y de mejor rendimiento es el "Leaky Bucket" [62, 63, 74, 20]. Este mecanismo, del cual existen muchas variantes [20], consiste en incrementar un contador cada vez que se registra el arribo de un paquete, y en decrementarlo a una tasa fija 'a' (Fig.1.2). Se establecen umbrales del valor del contador para activar y desactivar mecanismos de control que reducen de prioridad o descartan los paquetes que transgreden las cotas aceptadas. Este mecanismo permite monitorear una amplia variedad de parámetros de tráfico, sin introducir retardos adicionales en la propagación de la información, por lo que puede emplearse también para monitorear las tasas de transmisión de información en cualquier enlace dentro de la red ATM.

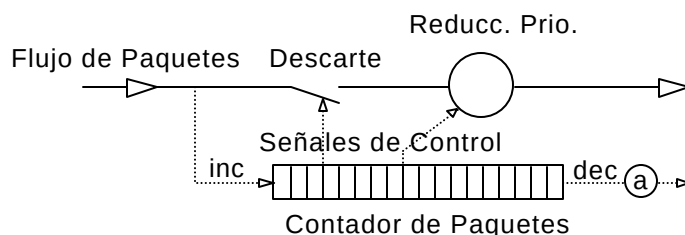


Fig.1.2 Mecanismo de Control de Flujo "Leaky Bucket"

Si el control preventivo no logra evitar un período de congestión, debe activarse un sistema de control de congestión de naturaleza reactiva. Este actúa típicamente a nivel del buffer de ingreso a la red ATM en un descarte selectivo de paquetes [23]. El descarte de celdas en este sistema, a diferencia del anterior, depende del estado de congestión de la red más que de un monitoreo de los parámetros de tráfico de la fuente, por lo que puede fácilmente complementarse con el mecanismo anterior si se coloca éste a continuación del anterior.

Para ciertas topologías de red existen también mecanismos de control de flujo y administración del ancho de banda a nivel de la red en su conjunto, tales como DQDB (Distributed Queue Dual Bus) [24] y ATMR (ATM Ring Protocol) [25], que operan en base a un algoritmo distribuido entre los nodos de la red. Sin embargo, el objetivo de estos mecanismos está orientado a una repartición justa y eficiente del ancho de banda de un canal entre servicios de voz o video y datos que comparten este canal común. Sin embargo, tampoco éstos resuelven completamente el problema de cómo utilizar en forma eficiente el ancho de banda dinámicamente asignado a cada tipo de servicio.

Justicia

Justicia en ATM se refiere a que los usuarios que se atienen a los parámetros negociados estén protegidos de los usuarios que no se atienen a lo convenido, así como también a que las políticas de tarificación consideren no sólo la cantidad de información servida, sino también las características del tráfico que el usuario ofrece a la red. La administración del ancho de banda

debe considerar también una repartición justa de éste entre los servicio que comparten un mismo canal de transmisión.

1.2 Estandarización de ATM

Con la introducción de tecnologías de comunicación por fibra óptica, han surgido enlaces de muy alta tasa de transmisión, y con ello la necesidad de desarrollar un protocolo que permita procesar la información a una alta velocidad.

Los protocolos existentes de las redes de datos, basados en la arquitectura de 7 capas de la ISO-OSI, son ineficientes a tasas de transmisión de 50 Mb/s o superiores [50], por lo que se ha desarrollado una nueva jerarquía de capas basada en ATM.

Capas Jerárquicas del Protocolo ATM

El protocolo ATM está constituido por las capas que se indican en la Fig.1.3 [46].



Fig.1.3 Modelo de Referencia ATM

Las capas superiores en el modelo de referencia de la Fig.1.3 dependen de cada aplicación específica que utilice las capas inferiores del protocolo ATM para el transporte de información por la red. La unidad de información en las capas superiores se denomina mensaje. Para facilitar la estandarización de las capas del modelo de referencia ATM, se distingue sólo entre cuatro clases de aplicaciones de las capas superiores:

- Clase A:** Emulación de Circuitos. Esto corresponde a establecer un enlace con flujo continuo de bits entre el transmisor y el receptor. La variación del tiempo entre arribos de información en paquetes es compensada con un buffer de llegada, y la pérdida de información tiene que ser reducida al mínimo. Deben sincronizarse asimismo los relojes de los extremos entre los que se envía la información.
- Clase B:** Servicios con tasa de transmisión de bits variable, con sincronismo entre el transmisor y el receptor. Los servicios de voz, video y sonido de tasa de transmisión variable son un ejemplo de estos servicios, en que se aprovecha la multiplexión estadística que ofrece ATM.
- Clase C:** Servicios de transmisión de datos con establecimiento de conexión. Este servicio puede establecerse con o sin la garantía de una transmisión libre de errores, así como también con mensajes de largo fijo o variable (la capa ATM transporta un fragmento de tamaño fijo de mensaje en cada celda). Por ejemplo, se suele establecer una conexión (o sesión) entre dos computadores cuando la cantidad de datos que se requiere intercambiar en forma interactiva es grande.

Clase D: Servicio de transmisión de datos sin establecimiento de conexión. Los mensajes de esta clase de servicio son enrutados en forma independiente a través de la red ATM usando direcciones explícitas del destino. Los servicios de correo electrónico y aplicaciones de tipo cliente-servidor son típicamente de esta clase.

Las principales funciones de cada capa están ordenadas en la Fig.1.4 [47]. La posición que ocupa en la celda ATM la información de cada una de estas capas y su largo en bytes, indicado entre paréntesis, se indican en la última columna a la derecha.

Capas Superiores	Funciones Capas Sup.	Capas de Usuario Clase A Clase B Clase C Clase D				Plano Control y Señalización	INFO (44-48)
Capa Adaptación ATM	CS	Tipos de protocolo CS CS-1 CS-2 CS-3 CS-4				Señalización CS	Marco AAL (0-4)
	SAR	Tipos de protocolo SAR SAR-1 SAR-2 SAR-3 SAR-4				Señalización SAR	
Capa ATM		Control de Flujo Genérico Generación & Extracción de encabezado Traducción campos VPI y VCI Multiplexión y Demultiplexión de celdas					Encabezado ATM (5)
Nivel Físico	TC	Verificación y generación del código HEC Sincronismo a nivel de celda Transmisión y recuperación de celdas					
	PM	Sincronismo al bit Transmisión de niveles lógicos (cód. de línea).					

AAL: Capa de Adaptación a ATM CS : Subcapa de Convergencia
 TC : Subcapa de Transporte y Convergencia SAR: Subcapa de Segment. y Reens.
 PM : Subcapa Física VPI (VCI): Identificador de VP (VC)

Fig.1.4 Funciones principales del Protocolo ATM

Capa de Adaptación ATM

Para cada una de las clases de aplicaciones descritas, existen servicios y funciones de adaptación específicos, denotados por XX-1,...,XX-4 en la segunda fila en la Fig.1.4, que son agrupados en una capa común denominada de Adaptación a ATM (AAL). Esta capa se divide en subcapas, cuyas funciones se describen a continuación¹.

- (1) *Subcapa de segmentación y reensamblaje (SAR).* Esta subcapa particiona los mensajes de largo variable de las capas superiores en bloques de tamaño apropiado para ser transportados en el campo de información de una celda ATM. De igual forma, esta capa vuelve a reconstruir los mensajes a su tamaño original en el extremo receptor. A cada fragmento de mensaje resultante se le agrega un encabezado y cola con información de control de este nivel. Solamente las celdas correspondientes al mismo mensaje están garantizadas de seguir la misma ruta.

¹En la Fig. 1.4, se asocian los servicios con numeración 1 a la clase A, 2 a la clase B,...

(2) *Subcapa de Convergencia (CS)*. Las funciones asociadas a este nivel son por ejemplo detección y recuperación de celdas perdidas, recuperación del sincronismo a nivel de mensaje, ecualización del retardo variable incurrido por las celdas, etc. Cada mensaje del nivel de convergencia va precedido de un encabezado y se le agrega información de término de mensaje apropiada.

Capa ATM

El nivel ATM tiene asignadas las funciones asociadas a la generación de celdas, y llenado e interpretación del encabezado ATM.

Cada celda está formada por 53 octetos (bytes), organizados como se muestra en la Fig.1.5 [49]. Los primeros 5 bytes corresponden al encabezado ATM, y los restantes 48 bytes al campo de información. En los enlaces entre equipos de la red ATM (interfaz red-red (NNI)) el campo VPI es de 12 bit y no existe campo GFC. El uso de los campos del encabezado se describe a continuación.

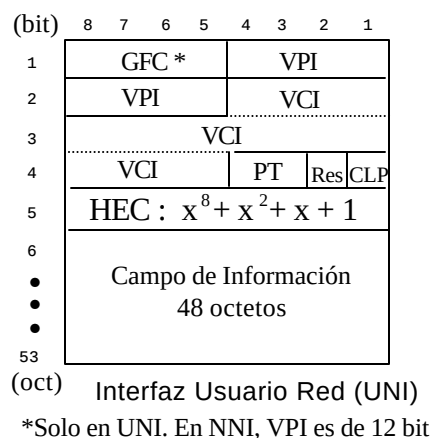


Fig.1.5 Formato de Celda ATM

El campo *GFC* (Generic Flow Control) está reservado para algoritmos de control de flujo y acceso genéricos (ej: DQDB o ATMR).

Los campos de identificador de *camino virtual* (VPI) e identificador de *canal virtual* (VCI) contienen entradas a la tabla de ruteo del siguiente conmutador de caminos virtuales o canales virtuales que visitará la celda. Cabe destacar que el protocolo ATM siempre suministra a las capas superiores las celdas en orden de secuencia correcto.

El campo de *PT* (Payload Type) está reservado para indicar el tipo de información que lleva la celda. Existen celdas de sincronismo y celdas de mantenimiento cuyo destino es el nivel físico, y celdas con destino a capas del nivel ATM.

El campo *Res* (Reserved) está reservado para uso posterior.

El campo *CLP* (Cell Loss Priority) permite asignar prioridades a las celdas ATM. Si este bit está seteado en 1, esto indica que la celda es de baja prioridad. Esto permite aliviar la red durante períodos de congestión, descartando celdas en forma selectiva según su prioridad.

El campo de *HEC* (Header Error Control) contiene un código redundante cíclico (CRC) que permite detectar y corregir errores en el encabezado de la celda ATM.

Nivel Físico

El nivel físico está dividido en la subcapa de medio físico (PM) y la subcapa de transmisión y convergencia (TC). La subcapa TC identifica cada celda dentro del flujo de bits o bytes que recibe de la capa PM, y está encargada del transporte y sincronismo de cada celda. Las celdas provenientes del plano de operación, administración y mantenimiento (O.A.M.) son insertadas en el flujo de información en esta subcapa. Esta subcapa está encargada también de realizar el chequeo de errores en el encabezado de las celdas ATM, y de mantener el sincronismo a nivel de celda [45, 50]. El mecanismo de sincronismo está basado en la búsqueda del encabezado de una celda ATM usando el cálculo del CRC de la lectura de 40 bits consecutivos del canal.

La subcapa PM está encargada de establecer el acceso físico al medio y suministrar un servicio de transporte para un flujo continuo de bits. Las funciones principales en esta capa son el envío de bits en un código de línea adecuado y sincronismo al bit.

El protocolo ATM no está definido completamente aun, ya que no se ha podido encontrar una solución definitiva a algunos problemas, como por ejemplo el control de flujo [45, 46]. La técnica más aceptada es el control de flujo a nivel de la fuente mediante algún mecanismo de control de flujo como el descrito en la sección 1.1. Sin embargo, queda por resolverse aun cómo evitar que estos mecanismos controlen innecesariamente cuando no hay congestión (debido a que el control no depende del estado de la red), o de que una fuente sea controlada injustamente debido a que el sistema de transmisión que media entre la fuente y el mecanismo de control de flujo distorsiona los parámetros del tráfico originales de la fuente.

2. Bibliografía y Referencias

- [1] C. Rassmussen, J.H. Sorensen, K.S. Kvols & S.B. Jacobsen, "Source Independent Call Acceptance Procedures in ATM Networks", IEEE J.S.A.C., Apr.91, pp.351-358.
- [2] D.O. Bowker & C.A. Dvorak, "Speech Transmission of Wideband Packet Technology", IEEE GLOBECOM '87, 1987, pp.1887-1889.
- [3] D. Sparrell, "Wideband Packet Technology", IEEE GLOBECOM '88, 1988, pp. 1612-1616.
- [4] D. Warig & J. Leichleider, "Digital Subscriber Line Technology Facilitates a Graceful Transition from Copper to Fiber", IEEE Comm. Mag., March 1991, pp.96-104.
- [5] H. Saito, "Optimal Queueing Discipline for Real-Time Traffic at ATM Switching Nodes", IEEE T.C., Dec.'90, pp.2131-2136.
- [6] S.-Q. Li, "Overload Control in a Finite Message Storage Buffer", IEEE T.C., Dec. '89, pp. 1330-1338.
- [7] S.-Q. Li, "A New Performance Measurement for Voice Transmission in Burst and Packet Switching", IEEE T.C., Oct.'87, pp. 1083-1094.
- [8] F.T. Andrews, "The evolution of Digital Loop Carrier", IEEE Comm. Mag., March '91, pp 31-35.
- [9] D.T. Huang & C.F. Valenti, "Digital Subscriber Lines: Network Considerations for ISDN Basic Access Standard", Proceedings of IEEE, Feb. '91, pp 125-143.
- [10] J.W. Leichleider, "Coordinated Transmission for Two-Pair Digital Subscriber Lines", IEEE J.S.A.C., Aug. '91, pp 920-930.
- [11] CCITT Recomm. G.765-, "5-,4-,3-,2-Bits/Sample Embedded ADPCM", 1990.

- [12] N. Kitawaki, H. Nagabuchi, M. Taka & K. Takahashi, "Speech Coding Technology for ATM Networks", IEEE Comm. Mag., Jan '90.
- [13] V. Rammamoorthy, N.S. Jayant, R.V. Cox & M.M. Sondhi, "Enhancement of ADPCM Speech Coding with Backward-Adaptive Algorithms for Postfiltering and Noise Feedback (invited paper)", IEEE J.S.A.C., Feb. 88, pp. 364-382.
- [14] T. Taniguchi, S. Unagami, K. Iseda, & S. Tominaga, "ADPCM with Multiquantizer for Speech Coding", IEEE J.S.A.C., Feb. 88, pp. 410-424.
- [15] V. Cuperman, A. Gersho, R. Pettigrew & J. Yao, "Low Delay Vector Excitation Coding of Speech at 16 Kb/s", IEEE T.C., Jan. 92, pp. 129-139.
- [16] S.Q. Li & J.W. Mark, "Performance Trade-Offs in an Integrated Voice/Data Services TDM System", North-Holland Performance Evaluation, 1988, Elsevier Science Publishers, pp. 51-64.
- [17] J. Bellamy, *Digital Telephony*, 2nd Ed., A. Wiley, New York '90.
- [18] M.K. Mehmet Ali, C.M. Woodside, J.F. Hayes, "Reassembly Buffer Requirements in a Packet Voice Network", Computer Networks and ISDN Systems 15 (1988).
- [19] J.J. Bae & T. Suda, "Survey of Traffic Control Schemes and Protocols in ATM Networks", Proceedings of IEEE, Feb.91, pp.170-189.
- [20] D. Hong & T. Suda, "Congestion Control and Prevention in ATM Networks", IEEE Network Magazine, July 91, pp.10-15.
- [21] J.G. Gruber, "A Comparison of Measured and Calculated Speech Temporal Parameters Relevant to Speech Activity Detection", IEEE T.C., Dec'89, pp.1330-1338.
- [22] N. Yin & S.-Q. Li, "Voice Packet Loss: Destination versus Internodal Links", IEEE T.C., Dec.'91, pp.1733-1736
- [23] N. Yin, S-Q. Li & T.E. Stern, "Congestion Control for Packet Voice by Selective Packet Discarding", IEEE T.C., May 90, pp.674-683.
- [24] D.R. Spears, "Broadband ISDN transport network architecture", GLOBECOM '89, 1989.
- [25] T. Okada, H. Ohnishi & N. Morita, "Traffic Control in Asynchronous Transfer Mode", IEEE Comm. Mag., Sept.91, pp.58-62.
- [26] K. Sriram & W. Whitt, "Characterizing Superposition Arrival Processes in Packet Multiplexers for Voice and Data", IEEE J.S.A.C., Sept. 86, pp.833-846.
- [27] I.W. Habib & T.N. Saadawi, "Multimedia Traffic Characteristics in Broadband Networks", IEEE Comm. Mag., July 92, pp.48-54
- [28] K. Sriram & D.M. Lucantoni, "Traffic Smoothing Effects of Bit Dropping in a Packet Voice Multiplexer", IEEE T.C., July 89, pp.703-712.
- [29] CH. Yuan & J. Silvester, "Queueing Analysis of Delay Constrained Voice Traffic in a Packet Switching System", IEEE J.S.A.C., June '89, pp.729-738.
- [30] K. Sriram, R.S. McKinney & M.H. Sherif, "Voice Packetization and Compression in Broadband ATM Networks", IEEE J.S.A.C., April 91, pp.294-304.
- [31] D.T. Huang & C.F. Valenti, "Digital Subscriber Lines: Network Considerations for ISDN Basic Access Standard", Proceedings of IEEE, Feb 91, pp.125-144.
- [32] S.Q. Li, "Study of Information Loss in Packet Voice Systems", IEEE T.C., Nov.89, pp.1192-1202.
- [33] I. Nikolaidis & R. Fujimoto, "Parallel Simulation of High-Speed Network Multiplexers", draft, Feb. '92.
- [34] D.W. Petr, L.A. DaSilva, V.S. Frost, "Priority Discarding of Speech in Integrated Packet Networks", IEEE J.S.A.C., June 89, pp.644-656.

- [35] J.G. Gruber, "Delay Related Issues in Integrated Voice and Data Networks", IEEE T.C., June 81, pp.786-800.
- [36] T.A. Gonsalves & F.A. Tobagi, "Comparative Performance of voice/data Local Area Networks", IEEE J.S.A.C., April 91, pp.351-358.
- [37] R.V. Cox, S.L. Gay, Y. Shoham, S.R. Quakenbush, N. Seshadri & N.S. Jayant, "New Directions in Subband Coding", IEEE J.S.A.C., Feb. 88, pp 353-363.
- [38] P. Kroon & E.F. Deprettere, "A Class of Analysis-by-Synthesis Predictive Coders for High Quality Speech Coding at Rates between 4.8 and 16 Kb/s (Invited Paper)", IEEE J.S.A.C., Feb. '88, pp 353-363
- [39] R.C. Rose & T.P. Barnwell, "Design and Performance of an Analysis-by-Synthesis Class of Predictive Speech Coders", IEEE Trans. on Acoustics, Speech & Signal Processing, Sept. 90, pp 1489-1503
- [40] C.J. Weinstein, "Opportunities for Advanced Speech Processing in Military Computer-Based Systems", Proceedings of IEEE, Nov. 91, pp 1626-1641.
- [41] M. Honda & F. Itakura, "Bit allocation in time and frequency domains for predictive coding of Speech", IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing, June 84, pp 465-473
- [42] K. Irie, Y. Tada & K. Honma, "APC-AB Codec Modules Operating at 16 Kb/s and 8 Kb/s", IEEE J.S.A.C., Feb. 88, pp 383-390.
- [43] S. Kano, K. Kitami & M. Kawarasaki, "ISDN Standardization", Proc. of IEEE, Feb. 1991, pp.118-124.
- [44] S.E. Minzer, "Broadband ISDN and Asynchronous Transfer Mode (ATM)", IEEE Comm. Mag., Sept. 1989, pp.17-57.
- [45] J-Y. Le Boudec, "The Asynchronous Transfer Mode: a tutorial", Computer Networks and ISDN Systems 24 (1992), pp.279-309.
- [46] M. Kawarasaki & B. Jabbari, "B-ISDN Architecture and Protocol", IEEE J.S.A.C., Dec.'91, pp.1405-1415.
- [47] V. Franzen & R. Händel, "A Solid Foundation for Broadband ISDN", Telcom Report International 14 (1991) No.1., pp.24-27.
- [48] V. Franzen & R. Händel, "Networking Aspects of Broadband ISDN", Telcom Report International 14 (1991) No.1., pp.28-31.
- [49] CCITT Draft Recommendation I.363, Geneva ITU 1991.
- [50] L. Kleinrock, "The Path to Broadband Networks.(Invited Paper)", Proc. IEEE, Feb. 91, pp 112-117
- [51] CCITT Draft Recommendation I.432, Geneva ITU 1991.
- [52] J.W. Roberts, "Variable-Bit-Rate Traffic Control in B-ISDN", IEEE Communications Magazine, Sept.'91.
- [53] I. Nikolaidis & Raif O. Onvural, "A Bibliography on Performance Issues in ATM Networks", Computer Communication Review, ACM SIGCOM Oct. '89, pp.8-23.
- [54] M. Hamburg, *Statistical Analysis for Decision Making*, Harcourt, Brace & World, Inc., 1970.
- [55] H. Allende, *Probabilidades y Estadísticas*, edición USM
- [56] B. W. Lindgren, *Statistical Theory*, 3rd.ed. C.Macmillan, 1976.
- [57] Sheldon M. Ross, *Introduction to Probability Models*, 3rd.ed. Academic Press, Inc., 1985.
- [58] D. E. Knuth, *The Art of Computer Programming, Seminumerical Algorithms*, Vol.2, 2nd Ed., Addison-Wesley 1981.
- [59] W.H. Press, B.P. Flannery, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, *Numerical Recipes in C*, Cambridge University Press, 1988.
- [60] E. Kreyszig, *Statistische Methoden und ihre Anwendung*, Vandenhoeck & Ruprecht 7. Aufl., 1979.

- [61] T. Murase, H. Suzuki, S. Sato, & T. Takeuchi, "A Call Admission Control Scheme for ATM Networks Using a Simple Quality Estimate", IEEE J.S.A.C., Dec.91, pp.1461-1470
- [62] E.P. Rathgeb, "Modeling and Performance Comparison of Policing Mechanisms for ATM Networks", IEEE J.S.A.C., April 91, pp.325-334.
- [63] L. Dittmann, S.B. Jacobsen & K. Moth, "Flow Enforcement Algorithms for ATM Network", IEEE J.S.A.C., April 91, pp.129-139.
- [64] S. Dravida & K. Sriram, "End-to-End Performance Models for Variable Bit Rate Voice Over Tandem Links in Packet Networks", IEEE J.S.A.C., June 89, pp.718-727.
- [65] R. Gusella, "Characterizing the Variability of Arrival Processes with Indexes of Dispersion", IEEE J.S.A.C., Feb.91, pp.203-211.
- [66] S.Q. Li & M.E. Zarki, "Dynamic Bandwidth Allocation on a Slotted Ring with Integrated Services", IEEE T.C., July 88, pp.826-833.
- [67] S.Q. Li & H.D. Sheng, "Multi-Media Traffic Queueing Analysis with Diversity of Correlation and Burstiness Properties", INFOCOM '91.
- [68] R.C.F. Tucker, "Accurate Method for Analysis of a Packet-Speech Multiplexer with Limited Delay", IEEE T.C., April 88, pp.479-483.
- [69] H. Heffes & D.M. Lucantoni, "A Markov Modulated Characterization of Packetized Voice and Data Traffic and Related Statistical Multiplexer Performance", IEEE J.S.A.C., Sept.86, pp.856-868.
- [70] A. Baiocchi, N.B. Melazzi, M. Listanti, A. Roveri & R. Winkler, "Loss Performance Analysis of an ATM Multiplexer Loaded with High-Speed ON-OFF Sources", IEEE J.S.A.C., April 91, pp.388-393.
- [71] R. Nagarajan, J.F. Kurose & D. Towsley, "Approximation Techniques for Computing Packet Loss in Finite-Buffered Voice Multiplexers", IEEE J.S.A.C., April 91, pp.368-377.
- [72] J.W. Roberts & J.T. Virtamo, "The Superposition of Periodic Cell Arrival Streams in an ATM Multiplexer", IEEE T.C., Feb.91, pp.298-303.
- [73] I. Norros, J.W. Roberts, A. Simonian & J. Virtamo, "The Superposition of Variable Bit Rate Sources in an ATM Multiplexer", IEEE J.S.A.C., April 91, pp.378-387.
- [74] Y.H. Kim, B.Ch. Shin & Ch.K. Un, "Performance analysis of leaky-bucket bandwidth enforcement strategy for bursty traffics in an ATM network", Comp. Networks and ISDN Sys. 25 (1992), pp 295-303.
- [75] K. Asatani, K.R. Harrison & R. Ballast, "CCITT Standardization of Network Node Interface of Synchronous Digital Hierarchy", IEEE Comm. Mag., Aug. 1990, Vol.28 No.8.
- [76] H. Kasai, T. Murase & H. Veda, "Synchronous Digital Transmission System Based on CCITT SDH Standard", IEEE Comm. Mag., Aug. 1990, Vol.28 No.8.
- [77] J.N. Daigle & J.D. Langeford, "Models for Analysis of Packet Voice Communication Systems", IEEE J.S.A.C., Sept.'86, pp.847-855.
- [78] S.-Q. Li & J.W. Mark, "Performance of Voice/Data Integration on a TDM System", IEEE T.C., Dec'85.

J.S.A.C.: Journal on Selected Areas on Communications.
T.C.: Transactions on Communications.