

实现 ATM 网中各种承载业务控制

鲁瑞华 雷开友

(西南师范大学 重庆400715)

摘要 本文描述了 ATM 信元结构,异步时分复用,适配层的功能以及服务种类,详细讨论了 GFR 业务类型并与其他业务类型作比较,显示了其在 ATM 网络中的业务控制。

关键词 ATM 信元,ATM 适配层,业务类型,GFR 业务类型,最小保用带宽,业务控制

Implementation of Loaded Services Control in ATM Networks

LU Rui-Hua LEI Kai-You

(Southwest Normal University,Chongqing 400715)

Abstract In the paper we present ATM cell structure, asynchronous time-division multiplex, the function of adaptive layers, service categories, describe in detail the GFR service category and its comparison with other service categories and show service control in ATM Networks.

Keywords ATM cell, ATM adaptive layer, Service category, GFR service category, Minimum guaranteed bandwidth, Service control

1 引言

ATM 是一种寻址特殊的分组通信方式,它包括异步时分复用和快速交换两种新技术。为了进一步提高通信速度,适应各种速率业务的需求,在 ATM 中信息的传输、复用和交换都是以一定长度的信元为统一的信息单位进行的,这样就容易实现高达数百 Mbit/s 以上的传输速率。ATM 是吸收了电路交换和分组交换两者长处的一种新型交换方式,既能像电路交换那样适用于电话业务,也能像分组交换那样适用于数据业务。更重要的是,ATM 还适用于一般电路交换和分组交换都不能胜任的更复杂的宽带新型业务。

ATM 的关键技术是既可以实现内部速率很高又无内部阻塞的交换结构。它具有较大的灵活性和适应性,可满足信息速率变化范围宽、突发性强、种类多的通信需求。因此对 ATM 网络的性能进行研究分析,对实现 ATM 网中各种承载业务控制进行深入探讨尤为重要。

2 ATM 信元

ATM(Asynchronous Transfer Mode)是一种基于信元的传输模式,它既能提供固定的短时延电路交换,又具有动态分配资源的分组交换特性,这实际上是以光纤通路与简化协议为基础的新型分组交换。

在 ATM 技术中,用户信息被划分为固定长度的信息域和固定字节数的信头,以构成一个固定大小的信元,如图1所示。ATM 信元的信头中装有控制信息,占5个字节,其中包括表示信元去向的逻辑地址、通道号、优先级和信头纠错码等信息。信息域中包含来自各种业务的用户信息,其长度为48个字节,这些信息透明地穿网络,信元的大小与业务类型无关,任何业务的信息都经过切割封装成统一格式的信元。

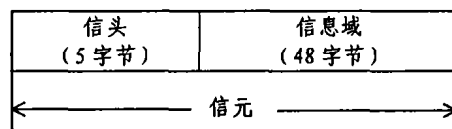


图1 信元结构

ATM 信元最突出的特征是异步时分复用,也叫统计复用。来自不同信息源的信元被汇集到一个缓冲器内排队,队列的输出是根据信息到达的快慢随机插入到 ATM 复用线上,因而具有很大的灵活性。这使得各种业务按其实际信息量来占用网络带宽,并且不管业务源的性质有多么特殊,网络都按同样的方式接入,从而真正做到了完全的业务综合。

3 ATM 适配层功能

ATM 网络的目的是提供一套与网络传输的信息类型无关的网络服务,这些服务是通过 ATM 参考模型定义的。ATM 物理层由传输汇聚子层和物理介质相关子层组成,主要完成物理线路编码和信息传输的功能。ATM 层主要定义了面向连接的信元传输服务机制和通信规程。高层涉及具体的与用户业务有关的功能。ATM 适配层(AAL 层)位于 ATM 层与高层之间,它是为了使 ATM 层能适应不同类型业务的需要而设置的,其主要功能是把来自高层的信息转换成 ATM 信元,同时把来自 ATM 层的信元拼装成高层所能接受的信息格式。ATM 层和物理层为所有的业务所共用。由于高层存在业务类型和服务方式的多样性,因此 ITU-T 把来自高层的业务分门别类作不同的转换处理,处理功能由拆/装子层(SAR)和汇聚子层(CS)完成。拆/装子层位于 AAL 下部,与 ATM 层相接,在发送侧把高层信息单元分割成若干个 48byte 的净荷段(称作 SAR-PDU)。在接收侧把来自 ATM 层的 ATM 信元净荷重新组装成高层信息单元。汇聚子层位于

AAL 上部,与高层相接并与高层业务有关,完成信息的识别、时间/时钟恢复等功能。

为了尽可能地减少 AAL 层协议的种类,ITU-T 根据信源和信宿之间的定时关系、比特率及连接方式,对业务进行了分类,如图2所示,同时规定了 AAL1,AAL2,...,AAL5 五种适配方式。

业务特征 分类依据	业务类型	A	B	C	D
信源和信宿间定时关系		要求		不要求	
比特率		固定		可变	
连接方式		面向连接			无连接

图2 AAL 业务分类

通常 AAL1 服务于恒定比特率(CBR)并且源和目的地之间有较严格的定时要求的业务。AAL2 用于可变比特率的业务适配,这种业务同时要求在源和目的地之间传送定时信息,但实现起来比较困难,ITU-T 至今尚未就 AAL2 SAR-PDU 的协议达成共识。AAL3 原设计用于面向连接的 C 类业务,AAL4 用于无连接的 D 类业务,这两类业务对数据丢失敏感而对时延相对不敏感。ITU-T 在对这两个类型的 AAL 标准化过程中,发现二者的特性非常类似,因此便将它们合二为一,称为 AAL3/4。AAL5 用于源和目的地之间没有定时关系的可变比特率业务,其功能与 AAL3/4 相类似。AAL5 可以看作是简化了的 AAL3/4。它允许信元信息域的所有 48byte 都用于传送 CS-PDU 段,这样减少了开销,提高了效率。

4 ATM 业务类型及其比较

4.1 ATM 业务类型

至今,ATM 业务类型一般分为5类,下面分别介绍,并重点介绍保用帧速率(GFR)业务。

(1)恒定比特率(CBR)业务,用最大峰值信元速率(PCR)即可表征,要求网络根据该参数预留带宽。CBR 为时延敏感业务,对信元传输时延(CTD)、信元传输时延变化(CDV)的指标要求严格,同时要求较低的信元丢失率(CLR)。

(2)可变比特率(VBR)业务,属于突发性业务,因此可用 PCR、持续信元速率(SCR)、最大突发尺寸(MBS)加以表征。rt-VBR 为时延敏感业务,要求网络保证其信元传输时延、信元传输时延变化指标,nrt-VBR 则无时延方面的要求。

(3)不确定比特速率(UBR)业务,属于“Best-Effort”业务,QoS 级别最低,信息源与 ATM 网络间只约定最大峰值信元速率,但在带宽分配、传输时延、传输可靠性方面均无保证。

(4)有效比特率(ABR)业务,保证最小信元速率,因此除最大峰值信元速率外,还需约定最小信元速率(MCR),对于以 MCR 传输的信息,ATM 网络保证其传输的可靠性。

(5)保用帧速率(GFR)业务,是最新的 ATM 业务类型之一,可以更好地支持 TCP/IP 通信。该业务对于终端系统来说像 UBR 业务类型一样易于使用,同时仍提供带宽保证。

GFR 业务类型允许终端系统以信元的 ATM 适配器的线路速率传输信元,保持简单的 UBR(从终端系统的观点看)。GFR 由于数据传输几乎都是基于 AAL5,因此特别注意 AAL5 的要求。GFR 业务类型要求网络部件识别 AAL5 帧边界,并在产生拥塞时删除整个 AAL5 帧。尽管它主要用在基于 AAL5 的通信,这样的硬性要求并不包括在 UBR 业务类型之

中。GFR 和 UBR 之间的另一个重要的不同点是,GFR 允许用户网络内部为每个 GFR 保留一定的带宽。这意味着用户得到了保证,他能够随时以最低速率无损地传输。另一方面,如果网络不拥塞,用户能够以较高速率传输。而且,在拥塞的情况下,网络将丢失整个的帧而不是丢失个别信元。

GFR 通信协议是由四个主要参数组成(信元时延变化容限忽略不计):峰值信元速率(PCR);最小信元速率(MCR);最大突发尺寸(MBS);最大帧尺寸(MFS)。

GFR 中的 PCR 与 UBR 中的 PCR 具有同样的意思:它是终端系统允许用以传输的最大速率,经常被确定为终端系统 ATM 适配器的线路速率。MFS 是终端系统能够发送的最大尺寸的 AAL5 帧。对于 GFR 各交换式虚拟电路(SVCs)来说,此参数将等于 AAL5-CPCS SDU 尺寸参数,该参数是连接设置期间在信源和目的终端系统之间商定的。

各终端系统指定一个不为零的 MCR 和一个相关的 MBS,请求一个最小保用带宽,MCR 用信元/秒表示,与网络内部为 VC 预留的长期平均带宽相一致。这与 VBR 中的持续信元速率相似,尽管 MCR 是对整个 AAL5 帧提供最小的保用带宽,而 SCR 是对单个的信元提供最小的保用带宽。MBS 对应用最小保用带宽的突发通信规定一个上限,MBS 的值是在终端系统与网络之间商定的,此参数必须至少等于 $1 + [(MFS \times PCR) / (PCR - MCR)]$ 。

GFR 业务类型规定了 ATM 信元内 CLP 比特的特殊应用。由于信息的逻辑单元是帧,GFR 给人以强烈的印象,即一个帧的各个信元有着同样的 CLP 比特。CLP=1 的 AAL5 帧,被认为是低优先级帧。这些帧应当由最佳效果基站网络进行传输。最小保用带宽只适用于 CLP=0 的帧。

由于有 CLP 比特的这种应用,如果终端系统用小于或等于 MCR 的速率传输 CLP=0 的 AAL5 帧,这些帧必定会被接收站正确接收。然而,GFR 不要求终端系统对其通信进行整形,可以预期,此种业务类型的大多数用户将随时以商定的 PCR 传输。在这种情况下,每一帧都将作为用 PCR 传输的信元突出现。

形式上,最小保用带宽是由 F-GCRA(T,L)规定的,其参数为 $T = 1/MCR$, $L = (MBS - 1) \times (1/MCR - 1/PCR)$ 。F-GCRA 是用于 VBR 的 GCRA 的适配。GCRA 和 F-GCRA 之间主要差别在于 F-GCRA 要说明整个 CLP=0 的帧对于最小保用带宽是否适用。适用的 AAL5 帧是那些应当传送到目的站以满足最小保用带宽的帧。CLP=1 的帧不适用于最小保用带宽。F-GCRA 是用以规定哪些帧适用于最小保用带宽,必须注意,GFR 显式允许终端系统在超过最小保用带宽时传输帧。GFR 业务类型也期待网络在最佳效果基站传送此过量通信到目的站终端系统,并“公平地”给各有效虚电路分配有效带宽。精确规定公平分配是相关实现。

如同其它业务类型的情形一样,已经规定了两个 GFR 一致性定义,即 GFR1 和 GFR2,两者之间的差别仅仅在于 F-GCRA 是否用于对网络入口不适合的帧显式设置 CLP 比特。具有 GFR2 一致性时网络入口修正函数使用 F-GCRA 标识不适合的 AAL5 帧。使用这种一致性定义时,只有适合的 AAL5 帧才会作为网络内部 CLP=0 的 AAL5 帧被接收。因此,适合的(CLP=0)和不适合的(CLP=1)的 AAL5 帧之间便有清楚的区别,从而 ATM 交换机可以依靠它来决定一个 AAL5 帧是否必须传过去满足最小保用带宽。

由于具有 GFR1 一致性,网络不可以改变终端系统发送

的帧的 CLP 比特,但终端系统在超过最小保用带宽时仍可以发送 CLP=0 的帧(即使只有一小部分 CLP=0 的帧适合最小保用带宽)。由于有这个一致性定义,网络内部适合的和不适合的 AAL5 帧之间便没有明显的区别。这样一来,为了支持 GFR1 一致性,网络内每个 ATM 交换机必须能够自行决定,哪些 CLP=0 的帧必须传输,以满足最小保用带宽,哪些 AAL5 帧是过剩通信量并且在出现拥塞时可以被删除。必须注意,GFR 业务类型不要求在网络入口查明适合的帧必定是那些必须传送到目的站以提供最小保用带宽的帧。GFR 只要求网络传递足够的完整的 CLP=0 的帧到目的站以提供最小保用带宽,但不事先规定哪些 CLP=0 的帧必须传送到目的站。

GFR 定义的另一个特点使用 GFR1 一致性定义时 CLP 比特的语义网。这个比特语义网有两种可能的解释:

①严格地讲,全部 CLP=0 的帧,包括不适合的在内,具有精确的解释时比 CLP=1 的帧更为“重要”。此解释意味着交换机在删除一个不适合的 CLP=0 的帧之前总是应当首先删除 CLP=1 的帧。

②相对地讲,一个 CLP=1 的帧总是不如属于同一个 VC 的 CLP=0 的帧重要,但是却比属于不同 VC 的一个 CLP=0 的帧重要。这意味着交换机应当删除到达的 AAL5 帧,无论它们是基于此帧第一个信元的 CLP 比特还是基于相关 VC 的资源消耗。

由于 ATM 论坛没有在这两种解释之间作出优劣的选择,每个 ATM 设备的供给者或网络提供者将不得不选择一种解释。这就可以从多机种网络的性能引出种种互用问题。

4.2 GFR 业务类型与其它业务类型比较

(1)与 UBR 相比较,具有零 MCR 的 GFR 的主要优点是,使用 GFR 网络必须对帧边界加以考虑。这就意味着 GFR 交换机必须实现帧删除策略。尽管 UBR 交换机也应实现这些策略,但这并不是硬性要求。因此可以预期 TCP 的性能对具有零 MCR 的 GFR 与对 UBR 至少是一样好。

(2)与 VBR 相比较,GFR 的主要优点是,服务质量保证是在帧级提供的,而在 VBR 中服务质量保证只在信元级提供。使用 GFR 总能比使用 VBR 取得更好的效果。

(3)与 ABR 相比较,GFR 的主要优点是对于终端系统它很简单,GFR 不必在终端系统内部安装复杂的整形器,而 ABR 却要。这样也许要消耗更多的依赖于每个 VC 调度的复杂的交换工具。然而,尽管 ABR 能被用于简单的 FIFO 交换机,它也要迫使网络操作员为大量运算参数(速率递增因子(RIF)、速率递减因子(RDF),等等)选值,这就要影响源和终端的行为,在多机种网络中正确选择这些参数绝非轻而易举的事情。GFR 不要求明确说明这些参数。GFR 的另一个优点是它不会由于传输 RM 信元而增加额外开销。此开销在实践中可能很大。自然,这个优点会被如下一个事实所抵销,即 GFR 不提供无丢失业务,而 ABR 可以避免 ATM 网络内部的丢失。

5 ATM 网络中的业务控制

ATM 网络的智能化管理体现在能够区分不同的业务,并根据用户申请,采用各种业务量控制与管理手段来有效地保证不同用户对 ATM 网络资源的共享。

(1)连接许可控制(Connection Admission Control,CAC)也叫连接接纳控制,是一种基本的同时也是重要的“预防

式”业务量控制方法。ATM 交换机一旦收到用户建立虚连接的申请,它将执行 CAC。根据现有的网络资源使用情况及用户对 QoS 的要求,决定接受或拒绝该申请。通过 CAC,ATM 交换机若认为新建立的连接不会影响已有其它连接的正常通信,即 ATM 网络尚有足够的资源用以接受新的申请,则新申请被接受,否则,申请被拒绝。

(2)使用参数控制/网络参数控制(Usage Parameter Control/Network Parameter Control,UPC/NPC) 通过 CAC,ATM 网络与用户达成协议,根据用户的 QoS 要求,分配相应的网络资源。但在实际通信过程中,用户有可能不遵守协议,向网内发送过量的信息,从而影响到其它用户的正常通信。UPC/NPC 的作用是对一个虚连接(VP 或 VC)上信息流量加以监测和控制,对违约的用户信息进行及时处理,保证网中通信的有序进行,UPC 应用于 ATM 网络入口处(UNI),NPC 应用于 ATM 网内的各节点间(NNI),UPC/NPC 也是一种基本的业务量控制方法。

UPC/NPC 对违约的信息作如下处理:若信元的 CLP=1,说明用户信息不重要,违约数据被丢弃;若 CLP=0,说明用户信息较为重要,ATM 交换机将 CLP 置 1,提高其丢弃优先级。UPC/NPC 的处理结果实际就是对违约信元进行标记或丢弃。

UPC 的监测作用主要基于通用信元速率算法(GCRA)。ITU-T 371 建议中定义了两个等价的 GCRA,分别叫做虚调度(VS)算法和连续状态漏桶(leaky bucket, LB)算法。对任何信元到达时间序列 $\{t_n, a \geq 1\}$,两种算法都能决定同样的信元是否是一致的。

在网络尚有资源可用时,若检测到有不一致的信元,并不将其丢弃,而是将 CLP 比特由 0 改为 1,以后若不遇到拥塞,则 CLP 为 1 的信元仍可达到目的地。若遇到拥塞,则将优先丢弃该类信元。若检测到某连接的不一致的信元数超过某一阈值,则该连接就变为不一致的连接,网络会采取释放措施。

(3)多优先级控制(Multiple Priority Control,MPC) CAC 和 UPC 并不能完全解决 ATM 网络的拥塞问题,为了有效控制网内信息流量,实际的 ATM 网络大都采取多优先级控制方法,即采用一定的机制将不同特性的业务放在不同发送优先级的缓存队列里发送,做到业务分流。在同一队列中,又按用户信息的重要程度,在网络拥塞时首先有选择地丢弃那些不重要的信息。

(4)业务量整形(Traffic Shaping) 业务量整形也是一种重要的流量控制方法。不同类型的业务具有千姿百态的流量模式,Traffic Shaping 则让用户信息适应网络,将各种输入的流量模式进行整形处理,使得 ATM 网络更易于控制及处理各种业务。

(5)丢包控制(Packet Discard Control,RDC)及反馈控制(Feedback Control) ATM 网络在运行过程中,通过特殊的运行维护管理(Operation Administration Management,OAM)信元来监测网络内部的拥塞状况,一旦网内发生拥塞,ATM 网络立即让信元头净负荷(PT)域的显式正向拥塞指示(EFICI)沿着虚连接的路径前向显示传递拥塞告警信号,并最终传递至信息接收端。接收端可以将拥塞告警回传给信息发送端,希望其降低发送速率。同时,ATM 网络有选择地丢弃 CLP=1 的信元,以减轻网络拥塞程度。

为了更有效地控制网络拥塞,某些 ATM 交换机支持部分丢包(Partial Packet Discard,PPD)及早丢包(Early Packet

Discard, EPD) 机制。由于绝大部分数据业务采用一定的帧格式以数据帧为单位进行信息传送, 这些帧进入 ATM 网络前大都需经过 AAL5 适配或固定长度的信元, 因此丢弃一个信元和丢弃整个帧的效果是一样的。AAL 在信元头 PT 域指示出该信元是否为承载的用户信息的最后一个信元。PPD 监测这一结束标记, 在发生信元丢弃时, 如果被丢弃的不是 AAL5 信元流的最后一个信元, 则将剩余的信元加以丢弃。EPD 也识别 AAL5 信元的结束标记, 在缓存队列的容量超过阈值时, 将后继的数据帧全部丢弃, 通过 PPD 及 EPD, 网络性能可以得到很大改善。

为了支持 ABR 业务, ATM 网络需要能够实现反馈控制机制。ABR 业务发送端以当前信元速率 (Current Cell Rate, CCR) 发送信息。CCR 可以在 PCR 及 MCR 间变化, 具体大小由用户与网络协商确定, 协商的过程便是反馈控制过程。反馈控制方式有两大类: ①端到端的 ABR 控制; ②分段的 ABR 控制。

分段的反馈控制比端到端的反馈控制更为灵敏、及时, 可进一步提高网络性能, 但同时也增加了实现的复杂度。

(上接第4页)

- 8 Yankelovich N, Levow G-A, Marx M. Designing Speech Acts: Issue in Speech User Interfaces, CHI95
- 9 Shneiderman B. The Limits of Speech Recognition: Understanding Acoustic memory and appreciating prosody
- 10 Oviatt S, et al. Designing the User Interface for Multimodal Speech and Pen-based Gesture Applications: State-of-the Art Systems and Future Research Directions. CHI2000
- 11 Zue V, et al. Jupiter: A Telephone-Based Conversational Interface for Weather Information
- 12 Polifroni J, et al. Evaluation Methodology for a Telephone-Based Conversational System
- 13 Hurley E, Polifroni J, Glass J. Telephone Data Collection Using the World Wide Web
- 14 Rudnicky A I, et al. Task and Domain Specific Modeling in the Carnegie Mellon Communicator System
- 15 Christian K, et al. A Comparison of Voice Controlled and Mouse Controlled Web Browsing
- 16 Wynblatt M, Benson D, Hsu A. Browsing the World Wide Web in a Non-Visual Environment
- 17 Petrucci L S, et al. WebSound: a generic Web sonification tool, and its application to an auditory Web browser for blind and visually impaired users
- 18 Walker M A, et al. What Can I Say?: Evaluating a Spoken Language Interface to Email. CHI98, 1998. 18~23
- 19 Wilcox L, Smith I, Bush M. Wordspotting for Voice Editing and Audio Indexing. CHI'92, 655~656
- 20 Oard D W. Speech-Based Information Retrieval for Digital Libraries
- 21 Raman T V. Audio System for Technical Readings: [PHD. Dissertation]. Cornell University
- 22 Raman T V. Emacspeak-Direct Speech Access
- 23 Kamel H M, Landay J A. Integrated Communication 2 Draw (IC2D): A Drawing Program for the Visually Impaired
- 24 Mereu S W, Kazman R. Audio Enhanced 3D Interfaces for Visually Impaired Users. CHI96, Electronic Proceedings
- 25 Myron D, Krueger W, Gilden D D. KnowWhere™: An Audio/Spatial Interface for Blind People
- 26 Marx M, Schmandt C. MailCall: Message Presentation and Navigation in a Nonvisual Environment
- 27 Davis J R. A voice interface to a direction giving program
- 28 Grasso M A, [Ph. D.]. Structured Speech Input for Clinical Data Collection
- 29 Grasso M A, Finin T. Task Integration in Multimodal Speech Recognition Environments
- 30 Grasso M A. Speech Input in Multimodal Environments: Effects of Perceptual Structure on Speed, Accuracy, and Acceptance: [PHD Thesis]

结束语 虽然 ATM 技术尚处于充分成熟过程之中, 但它以其高速、大容量的交换处理能力以及对不同类业务的适应性, 在广域网及局域网环境中得到了广泛的应用。ATM 对各种业务的管理能力更充分反映了 ATM 网络及系统的智能化水平, 体现了 ATM 技术的先进性, 同时也为 ATM 网络及系统的运营、维护及管理带来极大的便利。

参考文献

- 1 ATM Forum. Addendum to Traffic Management v4. 1 for an Optional Minimum Desired Cell Rate Indication for UBR. str-tm-dcr-01. 01, straw ballot, May 2000
- 2 Cerdan F, Casals O. Mapping an Internet Assured Service on the GFR ATM Service. Networking 2000, May 2000, no. 1815 in Springer Verlag LNCS
- 3 Bonaventure O. A Simulation Study of TCP with the GFR Service Category. High Perf. Networks for Multimedia Apps, Kluwer, 1998
- 4 Huang J, Lee B, Khorsandi S. Simulation Study of GFR Implementations. ATM Forum 98-1035, Dec. 1997
- 31 Grasso M A, Ebert D, Finin T. Acceptance of a Speech Interface for Biomedical Data Collection
- 32 Alborzi H, et al. Designing StoryRooms: Interactive Storytelling Spaces for Children
- 33 Lajoie S, et al. Application of Language Technology to Lotus Notes Based Messaging for Command and Control
- 34 Karl L, Pettey M, Shneiderman B. Speech-Activated versus Mouse-Activated Commands for Word Processing Applications: An Empirical Evaluation
- 35 Arons B. SpeechSkommer: Interactively Skimming Recorded Speech. In: Proc. of UIST'93, pp. 187~196
- 36 Arons B. SpeechSkimmer: A System for Interactively Skimming Recorded Speech. ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 1997, 4(1): 3~38
- 37 Stifelman L J, et al. VoiceNotes: A Speech Interface for a Hand-Held Voice Notetaker. In: Proc. of INTERCHI, ACM, New York, 1993. 179~186
- 38 Stifelman L, Arons B, Schmandt C. The Audio Notebook Paper and Pen Interaction with Structured Speech. CHI, 2001. 182~189
- 39 Chiu P, Wilcox L. A Dynamic Grouping Technique for Ink and Audio Notes. UIST'98. San Francisco, CA, 195~202
- 40 Landay J A. Using Note-Taking Appliances for Student to Student Collaboration. 29th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference
- 41 Landay J A, Davis R C. Making Sharing Pervasive: Ubiquitous Computing for Shared Note Taking. IBM System Journal, 1999, 38(4)
- 42 Davis R C, et al. NotePals: Lightweight Note Sharing by the Group, for the Group. CHI, 99. 338~345
- 43 Abowd G D, et al. Teaching and Learning as Multimedia Authoring: The Classroom 2000 Project
- 44 Darvishi A. A Visual User Interface for Creation and Manipulation of Auditory Scenes
- 45 McGlashan S. Speech Interfaces to Virtual Reality
- 46 Lyons K, Gandy M, Starner T. Guided by Voices: An Audio Augmented Reality System
- 47 Resnick P, Virzi R A. Relief from the Audio Interface Blues: Expanding the Spectrum of Menu, List, and Form Styles. ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 1995, 2(2): 145~476
- 48 Resnick P, Virzi R A. Skip and Scan: Cleaning Up Telephone Interfaces. ACM, 1992. 419~426
- 49 Klemmer S R, et al. SUEDE: A Wizard of Oz prototyping tool for Speech User Interfaces
- 50 Rosenfeld R, Olsen D, Rudnicky A. Universal Human-Machine Speech Interface: A White paper
- 51 Shriver S, et al. A Unified Design for Human-Machine Voice Interaction