

一种适用于无线 ATM 通信的差错控制方案^{*}

吴晓文^{**} 李乐民 黄顺吉

(电子科技大学信息所 成都 610054)

【摘要】 研究了无线 ATM 通信的差错控制方案,提出了应根据多媒体业务类型、速率等参数,以及移动环境等,自适应地选择合适的差错控制技术和参数的思想。文中提出的差错控制方案主要包括 FEC(可变深度的交织、卷积码、BCH 码)和限时/非限时 SARQ 等技术,计算机仿真结果表明了所提方案的有效性。

关键词 无线 ATM 通信; 差错控制; 前向纠错; 选择性自动重传
中图分类号 TN919

未来的无线 ATM (Asynchronous Transfer Mode) 通信应支持多媒体业务(话音、图像和数据)的综合传输,但无线信道有较高的误比特率(BER)和较低的信道传输速率等特点。同时,移动通信系统中出现的衰落现象,使得无线信道的错误类型不仅有随机错误,而且还有比较严重的突发错误。因此,一个有效的、适合于多媒体业务在无线信道传输的差错控制方案,对于无线 ATM 通信来说是十分重要的。

本文在对无线移动通信的特点和多媒体业务的特性进行分析、介绍之后,提出了一种适用于无线 ATM 通信的差错控制方案,它由前向差错控制技术(FEC Forward Error Correction)和选择性自动重传技术(SARQ Selected Automatic Repeat Request)组成。由于差错控制方案与实际系统和环境有较大关系,本文通过计算机仿真证实了所提方案的确可以有效地支持多媒体业务的应用。

1 无线 ATM 通信的信道模型

本文考虑的无线 ATM 通信可支持无线多媒体终端的移动性,其传输信道为多径移动信道。多径效应将使接收信号的幅度产生衰落,若接收信号的包络服从瑞利分布,我们称这种衰落为瑞利衰落。在本文的研究中假定移动信道为瑞利衰落信道。通常,在利用计算机模拟的方法来产生瑞利衰落时,可分别生成两路高斯(Gaussian)随机过程,并由式(1)和(2)来表示^[1]

$$x_c(t) = 2 \sum_{n=1}^{N_0} \cos \beta_n \cos \omega_n t + \sqrt{2} \cos \alpha \cos \omega_m t \quad (1)$$

$$x_s(t) = 2 \sum_{n=1}^{N_0} \sin \beta_n \cos \omega_n t + \sqrt{2} \sin \alpha \cos \omega_m t \quad (2)$$

式中 $\alpha = \pi/4$; $\beta_n = \pi_n/N_0$; $\omega_n = \omega_m \cos(2\pi n/N)$; $\omega_m = 2\pi f_m$; $N_0 = (N/2 - 1)/2$; $N = 34$; 而 f_m 为最大多普勒频移。

1997 年 1 月 27 日收稿,1997 年 3 月 26 日修改定稿

^{*} 电子部预研基金和国家“863”计划项目

^{**} 男 29 岁 博士

由 $X_c(t)$ 和 $X_s(t)$ 合成的瑞利衰落信号为

$$y(t) = x_c(t)\cos\omega_c t + x_s(t)\sin\omega_c t \quad (3)$$

其中 ω_c 为载波角频率, 而包络 $|y(t)| = \sqrt{x_s^2(t) + x_c^2(t)}$ 服从瑞利分布。

由于移动信道的衰落现象会造成突发错误, 严重恶化接收信号的质量, 影响通信的可靠性, 为了支持多媒体通信, 应采用合适的纠错技术。

2 差错控制方案的提出

多媒体业务根据其对于实时性的要求可以分为两大类: 一类是对传输延时有一定限制的实时性业务 (RTT), 如话音和实时图像业务, 当某一信元的传输延时超过给定的最大延时限制 (MTD) 时, 则需将该信元丢弃, 以保证后续信元的实时传输; 另一类是对传输延时没有限制的非实时性业务 (NRTT), 如数据业务。话音业务对实时性的要求最为严格, ITU (国际电信联盟) 建议话音信元 (cell) 的传输延时控制在 25 ms 以内。但话音对于 cell 出错率的要求较低 ($BER \leq 10^{-3}$, 信元丢失率 $CLR \leq 10^{-2}$ 即可)。实时性的图像业务既对传输延时有一定的限制 (当然比话音业务要宽得多), 同时也对 BER 和 CLR 有较高的要求 (如 $CLR \leq 10^{-4}$), 差错控制方案中应兼顾上述两个方面。对于 NRTT 数据业务, 它对信元出错和丢失都有严格的限制 (如 $BER \leq 10^{-6}$), 但对传输延时的要求不高, 因此在差错控制时可以采用牺牲传输延时的办法来换取低的 BER 和 CLR 。

此外, 由于无线 ATM 通信还可支持多种速率的业务 (如 $n \times 64$ kbps 图像传输), 而业务源速率的大小也会对其性能造成影响。这是因为当信源速率较高时, 一次衰落会对更多的信元造成损害, 因此也应对类型相同但速率不同的业务采用不同的差错控制技术。再有, 由于终端的可移动性, 它们在不同的地方通信时所处的环境可能有较大的差异, 因此即使在通信过程中也应对纠错参数进行调整, 以保证满足其所需的服务质量 QoS (Quality of Service)。

基于上面的分析, 本文提出适用于无线 ATM 通信的自适应差错控制方案, 它主要由前向差错控制 (FEC, 包括交织、卷积码、BCH 码) 和限时/非限时选择性自动重传 (SARQ) 组成。本文中“自适应”的含义是, 网络将根据所传输的业务类型、速率、所需 QoS 以及具体的移动环境等情况, 合适地采用不同的差错控制技术和参数。具体实现时, 可在链路建立 (setup) 的时候, 无线 ATM 终端把业务的参数 (如业务类型、速率等) 和对 QoS 的要求 (如 BER 、 CLR 和 MTD 等) 通知网络, 网络将据此确定相应的差错控制技术和参数, 如是否采用交织和重传, 以及交织的深度、重传次数等, 并通知移动终端。同时, 网络在整个通信过程中将对信噪比进行监测, 并设置一或多个信噪比门限, 当达到某一门限时, 网络也将相应地调整差错控制参数, 并通过带内信令及时通知无线 ATM 终端, 使得多媒体业务的质量得到保证。

图 1 给出了本文提出的差错控制方案示意图。

3 FEC 技术

3.1 交织

交织方法实际上是一种时间离 (扩) 散技术, 它把信道中错误的相关性减小, 当交织度足够大时, 就可以把突发错误离散成随机错误, 从而可利用纠随机错误的码进行纠错。下面介绍在理想情况下 (即突发错误已被完全离散化, 且随随机错误的码可将错误完全纠正) 交织度的选取。本文假设无线 ATM 通信网为基于 TDMA 的时分系统, 一个 TDM 帧的持续时间为 T , 它由 N_s 个时槽组成, 多媒体业务每个 TDM 帧占用 P 个时槽, 则交织度 i 可由下式求出

$$i = (P/N_s)(R_c\tau_{\max}\Delta/t) \quad (4)$$

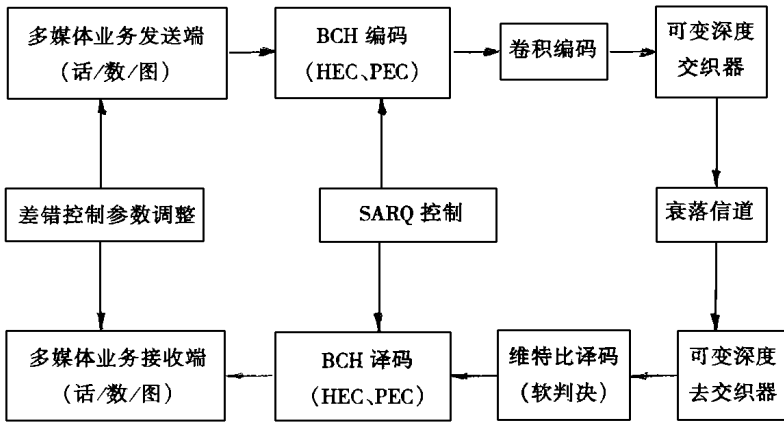


图 1 无线 ATM 通信的差错方案示意图

式中 t 为纠错编码可纠正的错误比特数; R_c 为信道传输速率; τ_{\max} 为最长的突发干扰时间; Δ 为衰落期间的错误密度。若采用自动重传 (ARQ), 则 t 为纠错编码可检测出的错误比特数。式 (4) 中的 τ_{\max} 与具体的移动环境有密切的关系, 如与最大多普勒频率 (f_m)、电平通过率 (LCR)、平均衰落持续时间、信号噪声功率比, 以及信号的检测方式等有关。一

般来说, τ_{\max} 应通过实测获得。

但交织会带来较长的处理延时, 而不同的业务对于 QoS 有不同的要求, 因此一个基本原则是: 对于语音业务, 应采用较小的交织度, 以保证实时传输; 图像业务应在保证满足 MTD 的情况下采用一定深度的交织, 以离散突发错误; 对实时性不敏感的数据业务则应采用深度交织, 使得突发错误完全离散化。一个信元经交织后的传输延时 D_1 可由下式来估计

$$D_1 = (in/R_s) + (i/S)T + \beta \quad (5)$$

式中 i 为交织度; n 为编码长度; R_s 为信源编码速率; S 为一个 TDM 帧可传输的该业务的信元数, T 为 TDM 帧的持续时间; β 为内、外码编/译码延迟。

若有重传控制, 设重传次数为 Q , 则

$$D_2 = (Q+1)D_1 \quad (6)$$

对于实时性业务, 其处理延时 (由交织、编/译码和传输引起) 均不能超过给定的最大延时限制 MTD, 因此应满足

$$D_2 \leqslant MTD \quad (7)$$

3.2 卷积码

本文的 FEC 采用级联码, 其中内码为卷积码, 由于无线 ATM 通信的传输速率较高, 卷积码的编/译码延时较短, 本文采用 (2, 1, 7) 码, 其生成多项式为 133, 171。设 $T(D, N)$ 为传递函数, 则其译码 (维特比软判决) 后的误比特率可由式 (8) 来表示^[2]

$$P_b \leqslant \frac{d}{dN} T(D, N) \Big|_{N=1, D=\sqrt{4P_e/(1-P_e)}} = \frac{1}{2}(36D^{10} + 211D^{12} + 1404D^{14} + 11633D^{16} + 76628D^{18} \dots) \quad (8)$$

式中 P_e 为未经纠错的信道误比特率。

3.3 BCH 编码技术

FEC 的外码采用 BCH 码, 用以增强对 ATM 信元头和信息字段的保护。

3.3.1 信元头 (cell head) 的编码方案

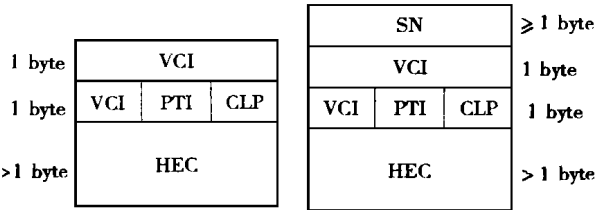
原 ATM 信元头中的差错控制 HEC (Head Error Correction) 的纠/检错能力较低, 仅能纠正一个比特错误。由于信元头中包含有路由、信元优先级等重要信息, 在无线环境下如果信元头发生错

误, 而该错误若被检测出来却无法纠正, 则应将该信元丢弃(drop), 由此会产生信元丢失; 但若不能检测出信元头发生的错误, 由于路由等信息出错, 则该元会误插(miss)到别的路由中去, 实际上也使得该类业务的信元发生了丢失。ATM 网络对信元丢失率(CLR)有严格的要求, 应尽量少丢失或不丢失信元。因此, 需设计纠/检错能力更强的 HEC 来保护信元头, 本文采用 BCH 码。

此外, 信道衰落会造成较长的突发错误, 如果交织不充分则增强的 HEC 仍然可能检测不出发生的错误。在图像和数据的信元头中增加序号字段(SN)是对付衰落的有效手段, 因为在衰落时即便 HEC 仍未检测出信元头发生了错误, 但由于严重的错误会使 SN 字段发生混乱, 当检测到出现乱序的现象时, 就可以确认此时信元头中有错。对于话音业务来说不必再设置 SN 字段, 因为话音业务仅采用很短的交织长度(如 4), 并且允许一定数量的信元丢失($CLR \leq 10^{-2}$, $BER \leq 10^{-3}$)。图 2 给出了新提出的信元字头的格式。与文献 [3] 相同, 图 2 中无线 ATM 的信元头中原 4 byte 的路由和控制字段被压缩为 2 byte, 而 SN 字段的长度与具体的移动环境有关。话音信元头没有 SN 字段, 若 HEC 采用(31, 16)BCH 码, 则可纠正 3 bit 的错误, 也可检测出 6 bit 的错误, 此时 HEC 字段为 2 byte。对于数据/图像信元头, 若 SN 字段为 2 byte, HEC 可采用(63, 39)缩短 BCH 码, 则可纠正 4 bit 的错误, 检测出 8 bit 的错, 此时 HEC 字段将占用 3 byte。

3.3.2 信元信息字段(payload)的编码方案

由于话音可容忍较高的 BER 和 CLR, 但对延时有严格的限制, 因此话音信元的 payload 字段可不再采取新的保护措施。但是, 对于图像和数据业务, 则需增强 payload 字段的差错保护能力。可采用既有纠错能力也有检错能力的 BCH 编码, 也可采用检错能力很强的 CRC(循环冗余校验码), 在发现错误后采用重传来解决。



(a) 话音信元头格式 (b) 数据/图像信元头格式

图 2 无线 ATM 通信网的信元头格式

本文提出应对 payload 字段进行 BCH 编码, 因为无线信道的误码率较高, 若对 payload 只检错不纠错的话, 则重传次数较多, 一方面会造成信元延时的大大增加, 另一方面还会使系统的通过率严重下降。本文在新的 payload 格式中增加 PEC(payload error correction)字段用来保护 payload。例如, 可采用由 2 组(255, 239)缩短 BCH 码构成的 PEC, 则总共可纠正 4 bit 的错误, 检测出 8 bit 的错, 此时 PEC 字段将占用 4 byte。

4 限时/非限时选择性自动重传

前面介绍了 FEC 技术, 但若错误较多 FEC 可检测出却纠正不过来时, 则对于某些业务需采用自动重传技术(ARQ)来纠正出了错的信元。ARQ 的方式有多种, 如 SWARQ、GBNARQ 等, 这里采用 SARQ(选择性自动重传), 即只重传出错的信元, 从而大大提高系统的通过率。当然, 不同的业务应采用不同的 SARQ。本文提出限时/非限时 SARQ 的概念。

话音业务对延时有严格的要求, 一般不采用 ARQ。对于图像业务, 本文提出采用限时 SARQ, 即发送端在初次传送一个信元后, 启动一定时器, 若在最大延时限制 MTD 内该信元没有被成功传送, 则将这个信元丢弃。在实际处理时, 可由式(4)~(7)得出最多可重传的次數 Q。在达到给定的重传次数后, 发送端不再保留该信元, 而接收端即使又发现错误也不能再请求重传。交织深度和重传次数需要很好地协调, 因为较小的交织可使一次传送的时间减小, 相应地在 MTD 内可增加重传次数, 但也有可能因交织度太小反而造成 BCH 码检测不出发生的较多错误(检测能力不够), 使得 SARQ 形同虚设。由上面的介绍可知, 具体的交织深度和重传次数由网络根据实际的移动环境

来确定。对于数据业务,通常对 BER 的要求很高,但对延时没有严格限制,因此可增加重传次数,以换取低的 BER 。不过,若允许无限制的重传,则在误码率较大的环境中可能造成系统的通过率严重下降,甚至不能通信。鉴于此,仍然应设置一个重传的限制次数,只不过该数值可以取得较大,如 3 次以上。若最终输出的信元仍然有错,则将错误信元丢弃,由网络的高层协议处理。

5 差错控制方案的性能

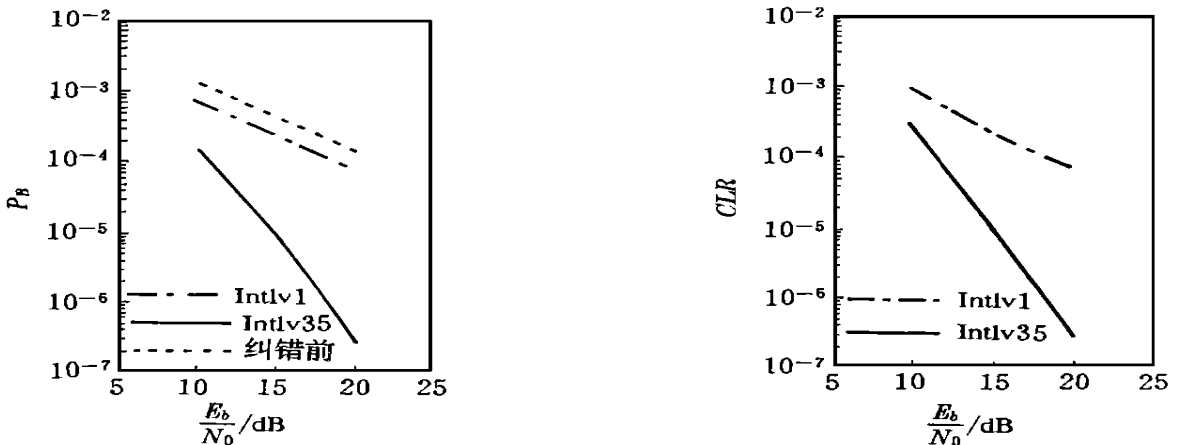
5.1 系统仿真条件及参数

为了证实本文提出的差错控制方案的有效性,我们对图像和数据业务在瑞利平坦衰落(Rayleigh fading)与加性白高斯噪声(AWGN)信道条件下的差错控制性能进行了仿真(话音业务比较简单,这里不考虑)。此外,我们假设最大多普勒频移 $f_m=50$ Hz, SARQ 的反馈信理想。为了使仿真环境更接近实际的情况,本文采用图像/数据业务分别在所分配的时槽中传输的方法进行了模拟,同时假定 TDM 帧持续时间为 5 ms,信道速率为 2.048 Mbps,图像业务信源速率为 384 kbps (1 个 TDM 帧传送 5 个 cell),图像业务 MTD 为 150 ms,数据业务信源速率为 76.8 kbps (1 个 TDM 帧传送 1 个 cell),信道调制方式为 BPSK。

5.2 计算机仿真结果及分析

5.2.1 图像业务的性能及分析

图 3 是衰落条件下图像业务经纠错后的 BER 和 CLR 与 E_b/N_0 的关系曲线,图中的 P_e 为纠错前的 BER , P_B 为纠错后的 BER , Intlv1 为交织度为 1 的性能, Intlv35 为交织度为 35 的性能。本文在交织度为 1 和 35 的情况下进行了仿真和比较。由式(5)可知,当交织度为 35 时,若不考虑编/译码延时,传送一个 cell 的时间约为 70 ms,而 MTD 为 150 ms,由式(7)可得重传次数 Q 为 1。从图 3 中可以看出,若交织度为 1(即没有交织),则经纠错后的性能改善很小。这是因为在这种情况下处于衰落期的信元错误率很大,很难被纠正或检测出。但当交织度为 35、 $Q=1$ 时,图像性能随 E_b/N_0 的增加更加迅速改善。当 E_b/N_0 为 17.5 dB 时,纠错后的 BER 仅为 10^{-6} 左右,而同时 CLR 也很低(10^{-6} 左右),完全可以满足图像业务 QoS 的需要。图 3 同时也说明了交织是对付衰落造成的突发错误的有效手段。



(a) 纠错后的 BER 与 E_b/N_0 的关系

(b) 纠错后的 CLR 与 E_b/N_0 的关系

图 3 衰落信道条件下图像业务的性能

5.2.2 数据业务的性能及分析

由于没有延时的限制, 数据业务可以充分交织, 为了便于计算机模拟, 这里选择的交织度为 80, $Q=5$, 图 4 给出了纠错后的 BER。从图中可以看出, 由于数据业务的速率较低, 且交织比较充分, 并增加了重传次数, 与图像业务相比它所需要的信噪比要低得多, 纠错后的性能非常好。在瑞利平坦衰落信道条件下, 当 E_b/N_0 仅为 10 dB 时, BER 即可达到 10^{-7} 左右。同时, 仅 E_b/N_0 很小时 (小于 5 dB) 存在信元丢失 ($E_b/N_0=5$ dB, $CLR < 10^{-8}$), 这说明采用本文提出的方案的确可以大大降低信元丢失率。

6 结束语

本文提出了具有自适应思想的无线 ATM 差错控制方案, 它的各种纠错参数均可根据具体的业务类型、参数, 以及实际的无线环境来决定。由于差错控制与实际系统和环境有较大关系, 本文利用计算机模拟了瑞利衰落信道条件下的多媒体业务的性能。仿真结果表明, 本文提出的方案可较好地支持多媒体业务的通信, 满足其服务质量的需要。

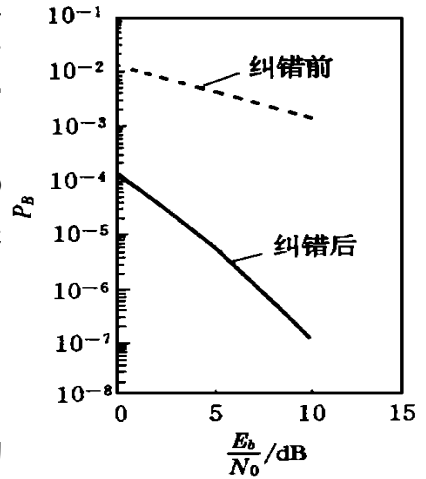


图 4 衰落信道条件下数据业务纠错后的 BER 与 E_b/N_0 的关系

参 考 文 献

- 1 Jakes W C. Microwave mobile communications. New York: John Wiley & Sons Inc 1974
- 2 Proakis J G. Digital communications, second edition. New York: McGraw-Hill, 1989
- 3 Raychaudhuri D. ATM-based transport architecture for multiservices wireless personal communication networks. IEEE J Selected Areas in Commun, 1994, 12(8): 1401~1414
- 4 郭梯云, 杨家玮, 李建东. 数字移动通信. 北京: 人民邮电出版社, 1995
- 5 Farley R O, Stamatelos G M, Falcoer D D. Simulation studies of broadband wireless systems employing code combing techniques. Proceedings of IEEE ICC, 1996: 260~266

An Error Control Scheme for Wireless ATM Communications

Wu Xiaowen Li Lemin Huang Shunji

(Inst. of Information Systems, UEST of China, Chengdu 610054)

Abstract This paper introduces an error control scheme for wireless ATM communications. In our scheme, the network can adjust the error control parameters according to multimedia traffic types, source bit rate and wireless mobile environment. The proposed error control scheme primarily consists of FEC and SARQ. Simulation results indicate that the scheme can meet the multimedia QoS requirement well in wireless ATM communications.

Key words wireless ATM communications; error control technique; forward error correction; selected automatic repeat request

编辑 徐安玉