

一种用于 T-DMB 系统 IP 业务传输的 GSE-FEC 方案

李立 刘元安 刘凯明 刘扬 程飞

(北京邮电大学泛网无线通信教育部重点实验室 北京 100876)

摘要: 该文采用通用流封装 GSE 来完成地面数字多媒体广播(T-DMB)系统的 IP 业务的传输, 提出了一种改进的 GSE-FEC 方案。其中设计了一种可提供帧重构信息以及错误位置信息的改进的 GSE 封装(IGSE), 进一步提出了基于 IGSE 的带擦除译码方案 IGE, 用于 GSE-FEC 方案的译码部分, 较好地提高了 GSE-FEC 的性能。仿真结果表明, IGE 与基于非带擦除(NE)以及基于现有 GSE 封装的带擦除(GE)RS 译码方案相比, 均表现出更强的纠错能力, 另外, 与 GE 方案相比, IGE 可以更好的保护正确字节, 有效的减少信息浪费。

关键词: 地面数字多媒体广播; 通用流封装; RS 码; 带擦除译码; 循环冗余校验

中图分类号: TN941.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2009)05-1233-04

A Novel GSE-FEC Scheme for IP-Based Service Transmission in T-DMB System

Li Li Liu Yuan-an Liu Kai-ming Liu Yang Cheng Fei

(Key Laboratory of Universal Wireless Communications, Ministry of Education, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: In this paper, based on the analysis of the existing encapsulation schemes, Generic Stream Encapsulation (GSE) is chosen to transmit IP-based service in the Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting (T-DMB) system. As a new emerging technology, no corresponding Forward Error Correction (FEC) function is considered for GSE. This paper proposes a GSE-FEC method to provide additional error protection. In order to further improve the performance of GSE-FEC, an Improved GSE (IGSE) scheme is devised to provide the GSE-FEC frame reconstruction information and the erasure information, and an Improved GSE Erasure (IGE) decoding scheme is presented based on the IGSE for the decoding in GSE-FEC system. The simulation results demonstrate that the IGE scheme shows better error correction capability than the schemes based on Non-Erasure (NE) decoding and GSE Erasure (GE) decoding. Moreover, comparing with GE scheme, the proposed scheme can reserve the correct bytes to the best of its ability for avoiding information wasting.

Key words: Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting (T-DMB); Generic Stream Encapsulation (GSE); Reed-Solomon (RS) encoding; Erasure decoding; Cyclic Redundancy Check (CRC)

1 引言

T-DMB^[1] 是韩国地面数字多媒体电视标准, 它是在 Eureka147 DAB 系统的基础上增加了新的音视频编码方案和附加信道保护而形成的。T-DMB 系统是一个非基于 IP 层的广播系统, 为了将它与其他基于 IP 层的系统如 DVB-H, BCAST 等相融合, 从而为用户提供更加多样化的服务, T-DMB 中 IP 层的引入就成为一个至关重要的研究方向, 现有的研究主要集中在 IP 隧道^[2] 和多协议封装 MPE^[3] 方面。

虽然 IP 隧道和 MPE 可以将 IP 业务引入 T-DMB 系统, 但是也会带来较高的封装开销和较低的封装效率, 因此有待进一步改进。近年来, GSE 协议^[4] 作为一种新兴的 IP 封装技术, 越来越受到标准组织的重视。本文提出将 GSE 方案

用于 T-DMB 的 IP 业务传输, 并将 GSE 与 IP 隧道, MPE 进行比较, 分析了 GSE 的优势所在。但是, GSE 作为一种较新的封装技术, 在错误保护方面还不成熟, 传输可靠性较低。因此, 本文提出一种 GSE-FEC 方案, 在体现 GSE 优势的同时, 使传输可靠性得到提高。另外, GSE-FEC 方案中提出使用带擦除译码方案 IGE, 通过设计 IGSE 封装来提供错误位置信息, 进一步提升了纠错能力, 相对于 NE 以及 GE 译码方案来说, 均表现出更好的性能。

2 T-DMB 系统的 IP 层引入

GSE 协议^[4] 是一种较新的 IP 封装技术。它可以提供通用流格式之上的网络层包封装以及分片功能, 即将协议数据单元 PDU 封装到可变长的链路层包中, 然后直接填入物理层的基带帧中进行传输。

由于 GSE 包可直接填入物理层中，相对于需要加入多层包头的 IP 隧道和 MPE 来说，具有更高的封装效率。为了进一步分析 GSE 的优势，本文将 GSE 与 IP 隧道和 MPE 的封装开销进行比较，其中开销计算公式如下：

$$\text{overhead} = \frac{\sum_{\text{所有包}} \text{开销长度}}{\sum_{\text{所有包}} \text{开销长度} + \text{PDU长度}} \times 100\%$$

开销长度包括包头，填充字节以及 CRC 的长度。

对长度在 100-5000 byte 之间的 PDU 使用上述 3 种方式分别进行封装，得到的开销曲线如图 1 所示，可以看出，GSE 方案在封装开销方面远优于其他两种方案。IP 隧道和 MPE 方案中开销的波动是由于包长度超过临界值时，将会引入较多的填充数据而引起的，而由于 GSE 包的长度是可变的，并不需要填充数据进行填充，因此可以得到更为平滑的开销曲线。另外，当包的长度为 1500 字节的倍数时，GSE 曲线存在轻微波动，这是由于我们定义 PDU 的长度超过 1500 字节时，会对 PDU 包进行分片而引起的。

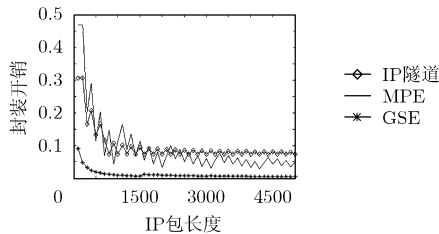


图 1 3 种封装方案的开销比较

GSE 协议作为一种新的封装技术，在其它很多方面也具有较明显的优势，具体见文献[4]所示。因此，本文使用 GSE 来进行 T-DMB 的 IP 层引入，可以解决 IP 隧道，MPE 所带来的封装开销过大，效率不高等问题。但是，在 IP 隧道和 MPE 中，均提供了相应的错误保护方案，而 GSE 作为一种较新的封装技术，在错误保护方面还不成熟，因此，本文提出一种 GSE-FEC 方案，使 GSE 传输的可靠性得到提高。

3 GSE-FEC 方案

3.1 GSE-FEC 帧

本文提出一种 GSE-FEC 方案来提供链路层附加的错误保护，主要通过外部的 RS 码和虚拟交织来实现的，其中 GSE-FEC 帧的结构如图 2 所示。

GSE-FEC 帧为一个行数为 m ，列数为 n 的矩阵，分为应用数据表和 RS 数据表两部分，其中 $n = 255$ ， $m = 64, 128$ 或 256 。应用数据表用来放置 IP 数据包，数据包按照到来的先后顺序依次放入 GSE-FEC 帧中，如图 2 所示，当所有数据包都传输完毕后，在应用数据表剩余部分使用全 0 进行填充。这里的填充数据仅仅是为了 RS 编码的需要，并不进行传输。在应用数据表部分处理完毕后，对其中每行数据使用 RS (255,191)码进行编码，可以根据情况选择不同的缩短码

以达到不同的编码效率。GSE-FEC 帧生成之后，将其中的 IP 数据包和 RS 数据作为 GSE 的有效载荷，加上 GSE 的包头按顺序进行传输。每个 GSE 包中包含一个完整的 IP 包或者一系列 RS 数据。在接收端，将接收到的数据填入重构的 GSE-FEC 帧中，待填充完毕后通过 RS 译码进行纠错。



图 2 GSE-FEC 帧结构

3.2 RS 译码

RS (255,191)码使用 64 个奇偶校验冗余字节进行错误检测，如果错误的字节超过 32 个，则纠错失败。但如果错误字节位置已知，它就可以纠正 64 个字节的擦除，称为带擦除 RS 译码。为了进一步提高 GSE-FEC 的纠错能力，本文提出一种新的带擦除译码方案 IGE 和改进封装方案 IGSE，即通过 IGSE 包的校验结果来提供错误字节的位置信息。

在现有的 GSE 封装方案中，并不包括对单独 GSE 包的校验机制，在 PDU 分片的情况下，也仅在封装最后一个分片的 GSE 末尾加 CRC 校验^[4]，如果直接将这种方案用于带擦除译码，则存在以下问题：首先，在单独的 GSE 包错误的情况下，无法提供位置信息。其次，对于分片 PDU 来说，现有的 GSE 虽然也在最后一个 GSE 包后加入了 CRC，但是由于使用这种方式来传的 PDU 通常比较长，在 CRC 错误时丢弃整个包将会浪费很多的信息。

因此，本文提出一种改进的 GSE 方案(IGSE)，其封装结构如图 3 所示，定义如下：

(1)对于包含单个 PDU 包的 GSE 来说，在原有 GSE 头的基础上加入地址信息，并在包尾部加入 CRC 校验，如图 3(a)所示。这里的地址为该 GSE 包中所封装的数据在 GSE-FEC 帧中的位置，即该数据的起始部分相对于 GSE-FEC 帧左上角的偏移量。地址占 16 bit，对于 IP 数据，地址取值应小于 0xBF00(256 × 191)，而对于 RS 数据，应小于 0xFF00 (256 × 255)。地址信息计算方法为：起始位置位于 GSE-FEC 帧应用数据表的第 p 行，第 q 列的 IP 包，其地址等于 $m \times (q - 1) + p - 1$ ；对于第 $t(1 \leq t \leq 64)$ 列的 RS 校验数据，其地址等于 $m \times (190 + t)$ 。其中 m 为 GSE-FEC 帧的行数。

(2)对于长度较大的 PDU 包(长度大于 1500 byte)，将其进行分片后，封装于多个 GSE 包中进行传输。此处对封装

每个分片的 GSE 包都加上 CRC 校验。另外,为了方便接收端对 GSE-FEC 帧的重构,每个分片中都加入相应的 GSE-FEC 帧地址字段,其封装结构如图 3(b)所示。其中第 1 个分片 GSE 包中的 CRC 由图中的 CRC_1 部分计算得到,后续的第 i 个分片 GSE 包中的 CRC 由图中的 CRC_ i 部分计算得到,而最后一个分片 GSE 包中包含 CRC 和 CRC_ ALL 两部分,其中 CRC 字段由 CRC_ end 部分计算得到,CRC_ ALL 字段由 CRC_ 1, CRC_ i 以及 CRC_ end 等所有这些数据校验计算得到。

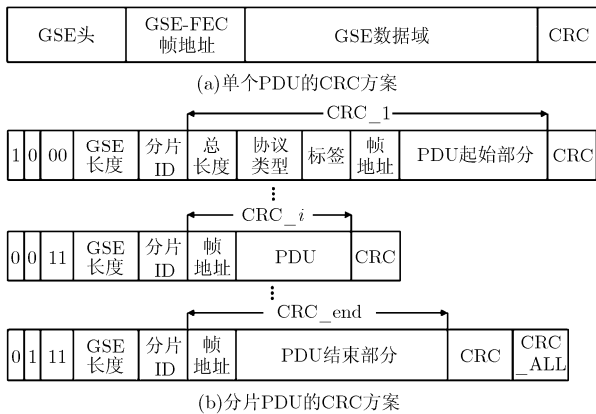


图 3 改进的 GSE 封装方案

IGE 为定义在 IGSE 基础上的带擦除译码方案,即接收端使用一个擦除信息表(EIT)来表示帧中每个字节的可靠程度,EIT 与 GSE-FEC 帧大小相同,‘1’表示不可靠字节,‘0’表示可靠字节,根据 EIT 进行 RS 译码的方法如下:

(1)一个单独 PDU 在 GSE 包中传输时:如果 CRC 结果正确,则将其中的数据直接放入 GSE-FEC 帧相应的位置中。如果 CRC 的结果错误,则将这个 PDU 包丢弃,根据地址信息在 GSE-FEC 帧相应的位置中填充任意字节,并在 EIT 相应位置上标识 1,等待 RS 数据传送过来以后进行纠错。

(2)PDU 分片在多个 GSE 包中传输时:接收端通过分片 ID 以及相应的标志位来判断一个经过分片的 PDU 是否传输完毕,然后接收端首先计算 CRC_ ALL 的值,如果正确,说明整个 PDU 包都是正确传输,可以直接放入 GSE-FEC 帧中。如果 CRC_ ALL 错误,说明整个 PDU 在传输过程中是受到污染的,此时存在两种情况,一种是整个 PDU 都存在错误,另一种是错误的字节集中在 PDU 的某一部分。显然,在信道中存在突发噪声的情况下,第二种情况是比较贴近实际的。因此我们再分别检测每个分片 GSE 包的 CRC,通过这些 CRC 值来判断哪段数据的传输发生了错误,这样就可以仅对存在错误的字段进行纠错,而将 PDU 包中正确的数据段直接填入 GSE-FEC 帧中,有效的防止信息浪费。

由上述分析可见,IGE 方案可以提高 RS 码的纠错能力,虽然 IGSE 中帧地址字段和 CRC 的加入会对 GSE 的开销产

生一定的影响,但是影响是十分微小的。

4 仿真结果

GSE-FEC 方案的完整实现步骤如下所示:

- (1)构造 GSE-FEC 帧结构,见图 2 所示;
- (2)将 IP 数据和 RS 数据封装在 IGSE 包中进行传输;
- (3)经过 T-DMB 物理层相应的处理后,通过 T-DMB 信道;

(4)接收端使用一个空的 GSE-FEC 帧以及相同大小的 EIT 来接收数据,当一个 IGSE 包到来之后,首先根据包头中的地址信息确定包中净荷在帧中的位置,并填入相应位置中;

- (5)检验 IGSE 包的 CRC 值,对 EIT 相应位置进行标记;
- (6)根据 EIT 提供的错误位置,使用 RS 译码进行纠错;
- (7)进行 IP 包的解析,得到最初发送的 IP 包。

我们首先对使用 NE 方法的 GSE-FEC 方案进行分析,以说明不同编码效率以及帧大小对于系统纠错能力的影响。本文的仿真是在奔腾 4 双核(2.80GHz, 2.81GHz)处理器,Windows XP 的环境下实现的,系统内存为 1G,使用 Matlab 进行仿真。此处选用瑞利衰落信道以及 QPSK 调制,卷积码率为 1/2, Doppler 频率为 20Hz。为了方便起见,仿真中设传输的所有 IP 包的长度均一致,为 200 byte, GSE-FEC 帧的行数分别为 64 和 128,码率取 1/2, 2/3 和 3/4,仿真结果如图 4 所示。可以看出,随着码率的降低,系统的误码率也会降低,这是由于较低的码率意味着将有较少的数据在信道中传输,因而重构帧中每行的错误字节个数超出 RS 纠错能力的可能性较小而引起的。另外,在码率相同的情况下,两种帧行数可以得到类似的性能,说明对于 200 byte 的 IP 包来说,选取 64 行或者 128 行的帧对误码率的影响是有限的。相对于其他的码率,当码率为 1/2 时,不同帧大小所得到的 BER 具有稍大的区别,这是因为 1/2 码率时应用数据与 RS 数据的列数相同,均为 64 列,因此相对于其他码率来说,RS 数据的传输质量对总体性能具有较大的影响。在 SNR 较小时,128 行帧结构将得到较差的 BER 结果,因为此时其每列 RS 数据的长度为 64 行帧结构的 2 倍,在传输过程中出错的可能性更大所引起的;而在 SNR 较大时,128 行的帧结构将得到较好的 BER,这是由于在信道条件比较好的情况下,RS 数据被污染的可能性也降低了,而 128 行帧结构具有更大的交织深度,因此可以得到更好的纠错性能。

图 5 给出了 IGE 与 NE 译码的结果,我们从误码率 BER

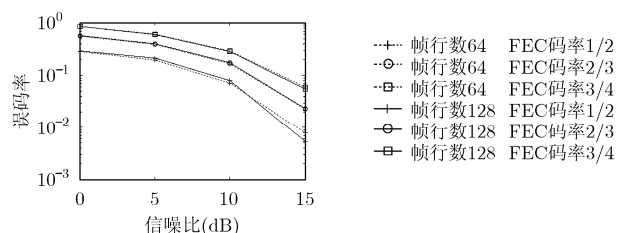


图 4 不同帧大小与码率下 NE 方案的误码率比较

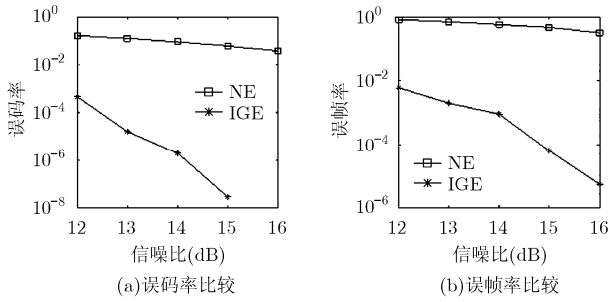


图5 IGE与NE方案性能比较

和误帧率 FER 两方面进行比较。此仿真中选取 IP 包长度均为 200 byte, 为了更好地体现译码方案的性能, 我们选取完整码进行仿真, 即码率为 3/4。根据图 4 中所示, 对于 200 byte 长度的 IP 包, 当码率为 3/4 时, 帧行数对性能的影响很微小, 因此本仿真中选取帧行数为 64, 信道参数同上。由于此处选用的是 3/4 的码率, 也就意味着 GSE-FEC 帧中可填入 60 个长度为 200 byte 的 IP 包, 这些 IP 包和 RS 数据经过封装后通过 T-DMB 信道进行传输, 由于传输的数据较多, 在接收端重构 GSE-FEC 帧时, 每行的错误字节超出 NE 纠错能力(32 byte)的可能性很大, 因此该方案的 BER 和 FER 结果都较差。而使用本文方案时, 由于纠错能力提高为原来的 2 倍, 可以保证接收端得到更好的性能, 效果令人满意。

图 6 给出了 GE 与 IGE 性能的比较, 根据上述分析, 对于长度较大的 IP 包, IGE 可以有效地防止正确信息的浪费。因此, 此处选取长度较长的 IP 包进行分析, 为 5000 byte, GSE-FEC 帧行数取 128, 可以看出, IGE 可以得到更好的纠错性能, 这是由于 GE 仅对整段数据进行校验, 从而标志的错误位置过多, 导致部分帧译码失败而引起的。而 IGE 通过分段校验提供错误标志, 在防止信息浪费的同时, 也可以一定程度上改善 BER 和 FER, 是一种有效的译码方案。

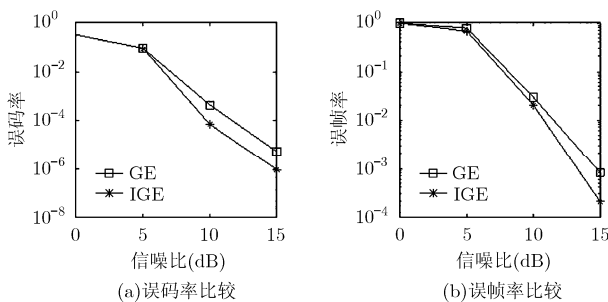


图6 IGE与GE方案性能比较

GSE-FEC 方案的使用必然引入传输时延, 但由包层上的编解码所引起的延迟总是小于任何一种重传方案所引起的延迟^[5]。为了说明 GSE-FEC 对时延的影响, 下面对不同大小的 GSE-FEC 帧进行简要的分析, 给出了相应的最大时延。表 1 中对 3/4 码率进行分析, T-DMB 系统物理层吞吐量取 1Mbps。可以看出, 相对于单纯的 GSE 封装, GSE-FEC 可以在可接收的延迟时间内, 达到提高可靠性的效果。

表1 不同大小的GSE-FEC帧的时延

GSE-FEC帧行数	时延(ms)
256	390
128	195
64	98

5 结束语

为了将 T-DMB 与其他基于 IP 层的系统相融合, 从而为用户提供更加多样化的服务, T-DMB 中 IP 业务的传输就成为一个至关重要的研究方向。本文选取 GSE 作为 T-DMB 系统的 IP 层引入技术, 并针对单纯的 GSE 封装可靠性不高的问题, 提出一种改进的 GSE-FEC 方案实现错误保护。

为了进一步提高 GSE-FEC 的纠错性能, 本文提出了新的译码方案 IGE, 并通过设计 IGSE 来为 IGE 提供擦除信息。仿真表明, 基于 IGE 的 GSE-FEC 可以在提高可靠性的基础上尽可能的保留有用信息, 是一种有效的 IP 业务传输方案。

参考文献

- [1] Lee G, Cho S, and Yang K T, *et al.* Development of terrestrial DMB transmission system based on Eureka-147 DAB system. *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, 2005, 51(1): 63-68.
- [2] ETSI. TS 101 735-Digital Audio Broadcasting (DAB); Internet Protocol (IP) datagram tunneling. ETSI standard, 2000.
- [3] ETSI. EN 301 192-Digital Video Broadcasting (DVB); DVB specification for data broadcasting. ETSI standard, 2004.
- [4] DVB Blue Book A116. Generic Stream Encapsulation (GSE) Protocol. <http://www.dvb.org/technology/standards/a116.tm3762r1.GSE.pdf>, 2007, 5.
- [5] Cioni S, Vanelli-Coralli A, and Niebla C, *et al.* Antenna diversity and GSE-based packet level FEC for DVB-S2 systems in Railway scenarios. 25th AIAA International Communications Satellite Systems Conference, Seoul, South Korea, April 2007, 230-236.

李立: 女, 1982年生, 博士生, 研究方向为数据广播、手机电视、网络资源管理等。

刘元安: 男, 1963年生, 教授, 博士生导师, 从事移动通信、网络、信息安全等研究。

刘凯明: 男, 1978年生, 讲师, 博士, 主要研究方向为宽带无线通信技术、无线自组网技术、下一代网络技术等。

刘炆: 男, 1984年生, 硕士生, 研究方向为 OFDM、手机电视等。

程飞: 男, 1983年生, 硕士生, 研究方向为数据广播、手机电视等。