

文章编号: 1672-2892(2011)02-0138-05

无线网络中的快速自适应实时流媒体控制算法

朱凌云^{1a,1b}, 李甲^{2a,2b}, 胡波^{1b}

(1.复旦大学 a.专用集成电路与系统国家重点实验室; b.电子工程系, 上海 200433;
2.中国科学院 a.电子学研究所, 北京 100190; b.研究生院, 北京 100039)

摘要: 在流媒体网络传输中, 如何降低媒体流的误码率和提供更好的媒体质量一直是流媒体研究所关注的焦点问题。本文在分析比较各类算法后, 提出了一种适用于无线网络中的快速自适应实时流媒体控制算法, 该算法能快速获取当前网络情况, 并在保证媒体流质量稳定的前提下, 非常快速、准确地调整发送端的媒体流速率。实验表明, 该算法能够在不稳定的网络环境中大幅降低媒体流的误码率, 并提供更好的媒体质量。

关键词: 自适应流媒体; RTP/RTCP 协议; 无线网络

中图分类号: TN915.43

文献标识码: A

Quickly adaptive real-time multimedia streaming control algorithm over wireless network

ZHU Ling-yun^{1a,1b}, LI Jia^{2a,2b} HU Bo^{1b}

(1a.State Key Laboratory of ASIC & System; 1b.Department of Electronic Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China;
2a.Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;
2b.The Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: How to keep error rate low and provide better media quality in streaming media transmission is the hotspot for study. A quickly adaptive real-time multimedia streaming control algorithm is proposed based on the analysis of various existing algorithms. The proposed algorithm can be used in wireless network environment. It can quickly acquire the network situation and adjust the sending bit-rate at the same time to ensure good media quality. Experiment and simulation results show that the algorithm can keep very low error rate and provide much better media quality in unstable wireless environment.

Key words: adaptive multimedia streaming; RTP/RTCP; wireless network

随着无线网络的不断发展, 各种基于无线网络的多媒体应用快速发展起来, 并得到广泛应用, 如无线移动电视、无线网络电台、网络游戏等^[1]。所有这些应用, 都要求有较宽并且稳定的网络带宽支持, 否则服务质量将受到影响。但由于无线网络连接的质量受环境因素的影响大, 常常不能提供稳定的网络带宽。因此, 基于无线网络的服务质量就会受到影响。为了提高无线网络中应用服务的质量, 近年来, 已提出了许多相应的解决和优化方法。文献[2-3]详细阐述了基于跨层优化的框架, 取得了较好的效果; 文献[4]基于跨层优化框架, 结合应用层编码、信道编码和多种调制方法, 根据数据链路层和物理层提供的信道质量指数, 选择最佳的参数组合方案来提高媒体流的质量。这种方法能明显降低误码率, 提高媒体流的质量, 但该方法不仅需要应用层程序的自适应调节, 还涉及到网络通信协议栈中多个层面参数的自适应调节。由于目前应用中大多数的实际网络中并不存在该类机制, 所以大规模的实现仍有一定的困难。文献[5-6]详细介绍了基于 3GPP 包交换流服务框架下的流媒体传输、控制机制, 并且与没有流控制的媒体流做了比较。这种方法可以较好地提高媒体流质量, 但需要对媒体流进行预先多种比特率的编码, 并不适用于实时传输, 只适用于 3G 通信框架。文献[7]提出了 1 种基于有优先级选择机制的路由器的传输机制, 虽然仿真取得了较好的结果, 但文献中的路由器依赖的是优先级选择机制, 目前并没有大规模的铺设, 离实现仍有一定距离。文献[8]参考 TCP 慢启动算法, 提出了 1 种快速匹配最佳发送速率的算法, 取得了较好的结果。为了能够在目前的多种实际无线网络中提供最佳的流媒体质量、较稳定以及较低误码率的流媒体, 本文提

收稿日期: 2010-12-01; 修回日期: 2011-01-09

基金项目: 复旦大学专用集成电路与系统国家重点实验室自主课题(09MS014)

出了1种快速自适应流媒体控制(Quickly Adaptive real-time Multimedia Streaming Control, QAMSC)算法。

1 快速自适应实时流媒体控制算法

实时流媒体控制算法的最终目的是在当前网络许可的情况下,提供平稳的、尽可能高质量的媒体流。为了达到这个目的,发送端必须能够掌握与接收端之间当前链路的情况,在保证媒体流稳定性的前提下,若链路情况变得更畅通,则尽快改变编码器参数,将媒体流码率提升至最合适的位置;若链路情况变糟糕时,立即调整编码器参数,降低媒体流码率至最稳定的位置。接收端则根据接收到的媒体流实时调整解码器和播放器的参数,进行正确播放,同时尽快地将丢包率或误码率传回发送端,告知当前链路情况,图1为实时流媒体系统的结构图。

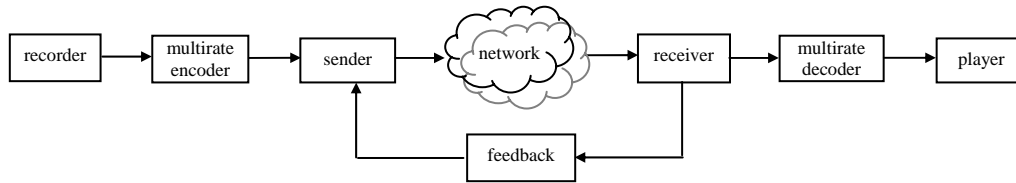


Fig.1 Structure of real-time multimedia streaming system
图1 实时流媒体系统结构

1.1 性能优化目标

本文算法要实现以下几个方面性能的提升。

- 1) 流媒体质量的稳定性: 由于媒体流码率的短时大幅波动会严重影响感官感受,因此用户一般希望媒体流能保持相对稳定。
- 2) 流媒体质量: 流媒体的质量是接收端最直接的感官感受,用户总是希望网络能够提供尽可能好的流媒体质量。
- 3) 传输的误码率(字节丢失率): 误码率一般直接影响流媒体的质量,因此,若能够大幅降低误码率,则流媒体的质量将有显著提高。
- 4) 信道利用率: 如果能够合理利用可用信道容量,提高信道利用率,也就提高了流媒体的质量。

1.2 算法设计

标准的 RTP/RTCP 协议为了支持多播的情况,将反馈流所占比例控制在 5% 以下,定义 RTCP 反馈流的标准时间间隔(记为 T_{RTCP})为 5 s。然而,在无线网络环境中,由于无线网络的带宽变化远比有线网络剧烈得多,因此这个间隔必须缩短,才能满足无线网络中实时流媒体的应用。本文改进了 RTP/RTCP 协议,在算法中大幅缩短 RTCP 反馈的时间周期。

由于 TCP 具有拥塞控制、出错重传等机制,会降低流媒体的实时性和感官质量,目前几乎所有流媒体方案都采用 UDP(User Datagram Protocol),本文算法也使用 UDP 为传输层协议。

1.2.1 测试流机制

在无线网络传输过程中,由于网络的波动,发送端会根据接收端的反馈信息估计当前网络大致情况,从而调整发送速率。在大多数流媒体控制算法中^[7-10],如果在一段时间内,接收端收到的反馈信息都比较令人满意,或者只要已接收到比较令人满意的反馈,发送端就根据某种策略提高流媒体的编码码率,试图提供更好的媒体质量。但是如果此时的网络情况只足以支持当前的流媒体速率,而不足以支持上调后的流媒体速率,则会引起丢包和更多误码的发生,从而降低接收端的媒体质量。随后,大多数算法在接收到有误码、丢包的反馈信息后,会立即启动乘性下调发送速率机制,大幅下调发送端码率,而这样会浪费大量的带宽资源,无法提供最佳质量的媒体流。

为解决上述问题,同时提高媒体流的稳定性和降低误码率,本文引入了1种测试流机制。在发送端抽象出2个媒体流,分别称为测试流和有效流,测试流是指发送端实际发送的媒体流的比特率,有效流是测试流中的一部分,指的是实际发送的媒体流中的有效数据部分。比如,当前流媒体的编码率为 112 kbps,则有效流为 112 kbps,假设测试流为 128 kbps,则当前发送端的实际数据发送速率为 128 kbps,但其中只有 112 kbps 的数据是有用的流媒体数据,其余的 16 kbps 的数据是用来测试的,称为冗余数据,并不一定是媒体数据。由于本文使用的是 UDP 协议,它无法保证数据包能否到达,所以,为了尽量提高媒体数据的接受率,将部分有效流的数据填充到冗余数据部分,作为有效流的备份,这样,当有丢包发生时,接收端仍有可能在冗余数据部分找到丢失包的备份。

1.2.2 快速自适应流媒体控制算法

任何1种多媒体编码标准,都有标准支持的1个或1组编码速率,如MP3标准支持的码率从8 kbps到320 kbps中十多个不等的离散码率。因此实时媒体流的发送端发送速率,是根据所选多媒体编码标准不同而不同的1组离散码率值。因此,快速自适应流媒体控制算法要根据接收端的反馈信息,在所选的媒体标准支持的码率中选择1个最适合当前网络的码率,对媒体数据进行编码和发送。本文使用如下的快速自适应流媒体控制算法:系统刚启动时,发送端以最低码率对媒体流进行编码并发送,此时测试流等于有效流,当收到接收端的反馈信息后,根据反馈的丢包率 r_R 相应地调整2个流。假设媒体流能够容忍的丢包率为 r_0 ,如果 r_R 大于 r_0 ,说明当前网络无法支持当前发送的比特流,发送端根据式(1)计算出适合当前网络的比特率,记为 BR_{TMP} ,因为每种标准仅支持有限个比特率,所以大多情况下 BR_{TMP} 并不正好等于某1个标准支持的比特率,因此将选择离 BR_{TMP} 最近的1个比特率作为下一阶段用来编码和发送的比特流,正好在比 BR_{TMP} 大的比特率(记为 BR_{UP})和比 BR_{TMP} 小(记为 BR_{LOW})的比特率之间选择1个。如果当前网路情况能够支持较大的比特流(BR_{UP}),即若 BR_{UP} 传输的丢包率小于 r_0 (根据式(2)计算得到),则采用 BR_{UP} 来提供较好的音质,否则采用 BR_{LOW} 。这样能够准确下调发送端比特率至适合的发送速率,此时测试流与有效流相等。

$$BR_{TMP} = BR_{CUR} \times (1 - r_R) \tag{1}$$

$$r_{TMP} = \frac{BR_{UP} - BR_{TMP}}{BR_{UP}} \tag{2}$$

如果 r_R 小于 r_0 ,则表示当前网络能够较好地支持发送端的音频流速率,如果 $r_R \leq r_{JMP}$ (r_{JMP} 是小于 r_0 的1个阈值),则表明当前网络能很好地支持发送端的音频流。为了提高媒体流的稳定性,并不立即提升发送端的比特率,而采用如下的延迟提升算法(见图2)来逐步提升发送端比特率:只有出现连续多个 $r_R \leq r_{JMP}(\text{Th}r_{TST})$,才能说明当前网络能非常稳定地支持发送端比特流,而不是一个突发的抖动,即使这样,仍不知道当前网络能否支持稍大一些的媒体流,此时会提高测试流的比特率,但维持有效流的比特率不变(此时的 r_R 是针对测试流而言的反馈信息)。随后,若有连续多个 r_R 小于 $r_0(\text{Th}r_{TST})$ 出现,则表明当前网络能够较好地支持测试流的比特率,因此,可以非常放心地提高有效流的比特率。

该算法能够在网络的可用带宽有较明显下降时,选择最适合当前网络情况的比特率,提供这种情况下所能提供的最佳音质;而当网络的可用带宽相对平稳并且非常充裕时(连续多个 r_R 小于阈值 r_{JMP}),能够在提高实际流媒体质量之前,先有效地测试网络能否支持提高后的流媒体,而不是直接将流媒体的码率提高,若有丢包则大幅降低流媒体质量,从而非常好地保证流媒体的稳定性,提供最佳的流媒体质量,同时也大幅降低了有效媒体流的误码率,提高了信道的利用率。

```

TEST_STREAM = minBitRate;
VALID_STREAM = minBitRate;
vsCnt = tsCnt = 0;

if ( r_R <= r_0 ) {
    if ( flag == SET ) {
        vsCnt++;
        if ( vsCnt >= Thr_TST ) {
            Increase VALID_STREAM;
            flag = UNSET;
            vsCnt = 0;
        }
    }

    if ( r_R <= r_JMP ) {
        tsCnt++;
        if ( tsCnt >= Thr_JMP ) {
            Increase TEST_STREAM;
        }
    }
}

tsCnt = 0; vsCnt = 0;
flag = SET;
} else {
    tsCnt = 0;
}
} else {
    tsCnt = vsCnt = 0;
    BR_TMP = TEST_STREAM * (1 - r_R);
    if ( (BR_UP - BR_TMP) / BR_UP <= r_0 ) {
        TEST_STREAM = BR_UP;
        ALID_STREAM = BR_UP;
    } else {
        TEST_STREAM = BR_LOW;
        VALID_STREAM = BR_LOW;
    }
}
    
```

Fig.2 C language description of QAMSC
图2 QAMSC算法C语言描述

2 实验仿真和分析

2.1 仿真载体

各种编码标准只支持1组给定的码率,MP3标准是由ISO/IEC组织定义的MPEG-1 Layer-III和MPEG-2 Layer-III音频压缩标准,这2种标准分别支持不同的比特率和采样率,如表1所示^[11-12]。由于官方的MP3标准支持的最低采样率为16 kHz,为了支持更低的采样率(12 kHz,11.025 Hz和8 kHz),Fraunhofer IIS开发出了非官方的MPEG-2.5 Layer-III版本,如表1所示。由此可见,MP3支持广泛的编码速率,即可供发送端选择的编码范围非常广泛。由于MP3可以将音频数据编码成一个个相互独立的帧,这种特性非常适合流媒体传输。基于以上特性,本文选择MP3音频编码标准作为流媒体仿真载体。

表1 不同MPEG标准支持的采样率和比特率

Table1 Various sample rates and bit rates supported by different MPEG standards

standard	sample rate/kHz			bit rate/kbps												definder		
MPEG-1	48	44.1	32	32	40	48	56	64	80	96	112	128	160	192	224	256	320	ISO/IEC
MPEG-2	24	22.05	16	8	16	24	32	40	48	56	64	80	96	112	128	144	160	ISO/IEC
MPEG-2.5	12	11.025	8	8	16	24	32	40	8	56	64							Fraunhofer IIS

2.2 仿真结果与分析

本文对标准 RTP 加 AIMD 算法(Standard RTP)、文献[8]中的 RTP 快速匹配最佳发送速率算法(Rapid Match)和本文算法(QAMSC)进行了多方面比较。本文使用的算法参数为： $Thr_{JMP}=3, Thr_{TST}=3, r_0=0.05, r_{JMP}=0, T_{RTCP}=500\text{ ms}$ 。

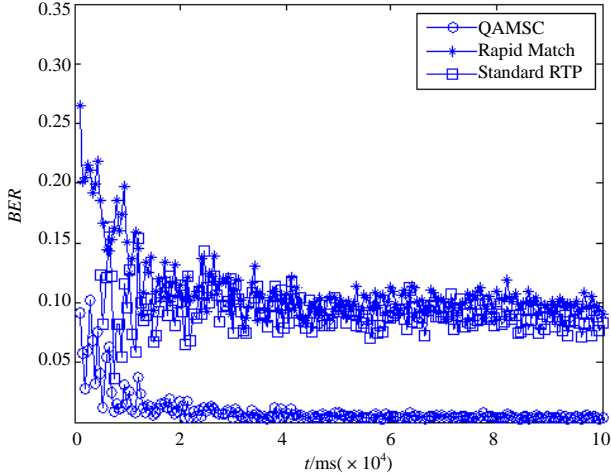


Fig.3 Comparison of Bit Error Rate
图 3 误码率比较

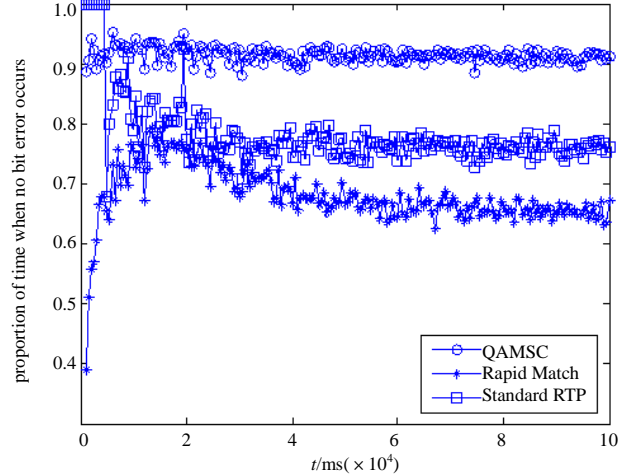


Fig.4 Comparison of the proportion of time when no bit error occurs
图 4 无误码时间比例比较

图 3 为 3 种算法在误码率方面的比较，图 4 为各种算法的无误码时间比例方面的对比，即完全没有误码的时间占总时间的比例。从图中可以看出，随着时间的增长，QAMSC 在误码率和无误码时间比例上分别达到了 0.01 和 91%，相比 Standard RTP 和 Rapid Match 有大幅度提升。这是由于本文引入了改进的 RTCP 机制和准确下调发送编码速率算法，因此当网络情况有所下降时，能比 Standard RTP 和 Rapid Match 更快，且更准确地调整发送端的编码速率，有效降低了误码率，提高了无误码所占时间的比例。

图 5 为 3 种算法在信道利用率上的比较。从图中可以看出，随着时间的增长，QAMSC 的信道利用率约收敛至 82%，而 Standard RTP 和 Rapid Match 的信道利用率分别收敛至 60% 和 75%，略小于 QAMSC。这是由于 QAMSC 使用了改进的 RTP/RTCP 协议，缩短了 RTCP 反馈时间，因此比 Standard RTP 和 Rapid Match 能更快地了解当前网络情况，配合发送速率延迟提升算法，能在网络畅通时，在保证媒体流稳定性的前提下，更快地提升编码速率，提高音质，更有效地利用信道资源。图 6 为各算法在音频稳定性方面的比较，即音频保持编码速率不变的平均时间。从图中可以看出，随着时间的增长，本文算法的音频稳定持续时间收敛在约 6 s 处，Standard RTP 和 Rapid Match 分别收敛到 3.3 s 和 1.5 s 处，远小于 QAMSC。这是由于本文引入了测试流机制，即使当前网络不能支持更高的媒体流，也并不会减小当前媒体流的编码速率，因此大幅度提升了媒体的稳定性。而 Rapid Match 中快速适配阶段以及从其他阶段调回快速适配阶段的编码速率跳变非常剧烈，大大影响了其算法在媒体稳定性方面的质量。

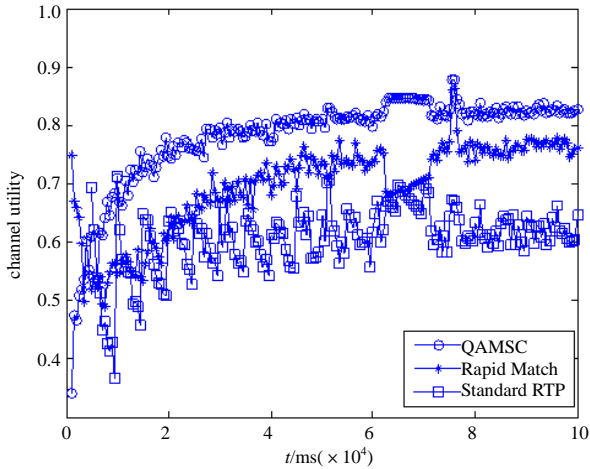


Fig.5 Comparison of the utilization rate of channel
图 5 信道利用率比较

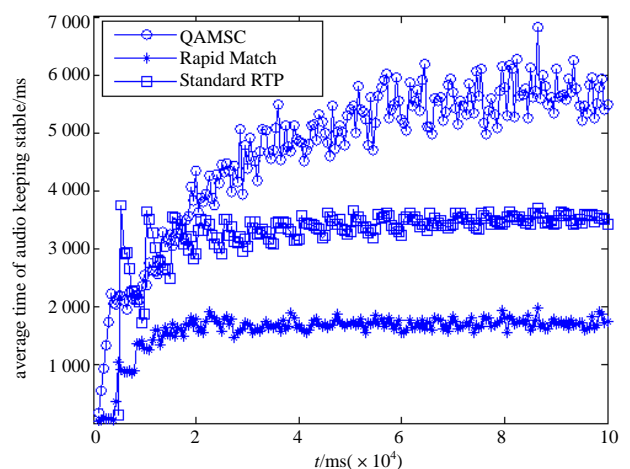


Fig.6 Comparison of the average time that audio keeps same bit rate
图 6 音频稳定平均持续时间比较

图 7 为各算法在音质方面的比较。从图中可以看出，随着时间的增长，QAMSC 的期望音质(期望 MP3 输出码率)约为 56 kbps，而 Standard RTP 和 Rapid Match 的期望音质约为 32 kbps，远小于 QAMSC。这是由于 QAMSC

使用的是根据当前网络状况,准确下调发送端编码速率的策略,而非 Standard RTP 中的乘性减策略,及 Rapid Match 中调回到快速适配阶段重新快速适配策略,因此能够直接提供最适合当前网络的音频编码,减少了不必要的音质过分降低后重新再增加的过程。

虽然 QAMSC 的反馈周期比标准 RTP 缩短了 10 倍(即反馈链路的流量是标准 RTP 反馈链路流量的 10 倍,但是由于反馈链路的数据量原本就相当小(32 bit/5 s,提升 10 倍后为 64 bit/s,与流媒体流量相比仍非常少),但是各方面性能却得到了大幅提升。

3 结论

在分析了当前多种流媒体控制算法的基础上,提出了适用于无线网络的 QAMSC 算法,该算法使用了改进的 RTP/RTCP 协议、测试流等机制,大幅提升了流媒体传输中各方面性能指标,并通过仿真和分析得到证实。

参考文献:

- [1] Rappaport T S, Annamalai A, Buehrer R M, et al. Wireless Communications: Past Events and a Future Perspective[J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(5): 148-61.
- [2] Shakkottai S, Rappaport T S, Karlsson P C. Cross-Layer Design for Wireless Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2003, 41(10): 74-80.
- [3] Khan S, Peng Y, Steinbach E. Application-Driven Cross-Layer Optimization for Video Streaming over Wireless Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2006, 44(1): 122-130.
- [4] Kovacevic J, Samardzija D, Temerinac M. Joint Coding Rate Control for Audio Streaming in Short Range Wireless Networks[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2009, 55(2): 486-491.
- [5] Frojdh P, Horn U, Kampmann M, et al. Adaptive Streaming within the 3GPP Packet-Switched Streaming Service[J]. IEEE Network, 2006, 20(2): 34-40.
- [6] Baldo N, Horn U, Kampmann M, et al. RTCP Feedback Based Transmission Rate Control For 3G Wireless Multimedia Streaming[C]// Proceeding PIMRC 2004. Barcelona, Spain: [s.n.], 2004: 1817-1821.
- [7] 孙伟, 温涛, 郭权. 一种适用于无线网络的流媒体传输机制[J]. 计算机应用, 2009, 29(1): 12-15.
- [8] 赵林亮, 廖先林, 田敏, 等. RTP 快速匹配最佳发送速率算法的研究[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2008, 29(5): 665-668.
- [9] PENG Ling, LI Shaowen. An improved algorithm of RTP adaptive transmission control[C]// 2009 Third International Conference on Genetic and Evolutionary Computing. Guilin: [s.n.], 2009: 595-599.
- [10] 蒋建国, 苏兆品, 李援, 等. RTP/RTCP 自适应流量控制算法[J]. 电子学报, 2006, 34(9): 1659-1662.
- [11] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG, IS11172-3 Information Technology-Coding of Moving Pictures and Associated Audio For Digital Storage Media at up to About 1.5 Mbit/s, Part 3: Audio[S]. 1992.
- [12] ISO/IEC 13818-3 Information Technology-Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio: Audio[S]. 1994.

作者简介:



朱凌云(1986-),男,上海人,在读硕士研究生,研究方向为数字系统设计和流媒体传输.email:zhu_lingyun@163.com.

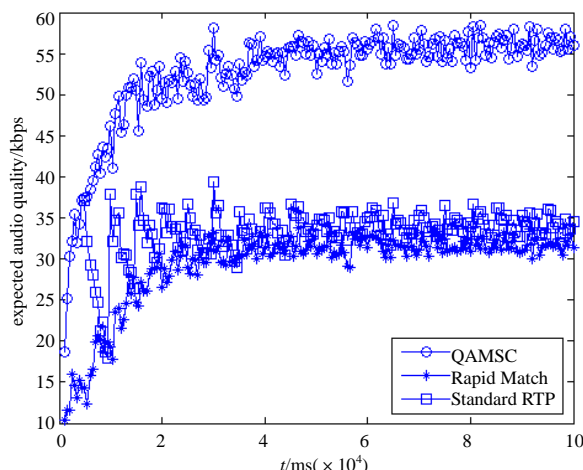


Fig.7 Comparison of average bit rate(expected audio quality)
图7 音频平均比特率比较(音质)

并通过仿真和分析得到证实。

李甲(1974-),男,山东人,中国科学院电子学研究所读博士研究生,研究方向为智能信号处理。

胡波(1968-),男,江苏省常州市人,博士生导师,教授,主要研究方向为数字信号处理、数字通信和系统设计。