

文章编号: 1672-2892(2010)03-0251-06

## 基于 RCPT 编码的自适应选择合并混合 ARQ 算法

严奇霖, 胡波

(复旦大学 电子工程系, 上海 200433)

**摘要:** 混合自动重传请求(ARQ)作为一种差错控制技术被采纳为 3GPP 长期演进项目(LTE)的关键技术。基于速率兼容截断 Turbo(RCPT)编码的混合 ARQ 算法, 因其性能优异、实现复杂度低而被广泛关注。传统混合 ARQ 算法主要包括 Chase 合并方式混合 ARQ, 其在高信噪比条件下提供较大的性能增益; 以及增量冗余(IR)方式混合 ARQ, 其在低信噪比条件下提供了更精确的速率控制。本文结合现有方法提出了一种基于 RCPT 编码的自适应选择合并混合 ARQ 算法, 它在不同信噪比条件下自适应地选择 Chase 合并方式混合 ARQ 与 IR 方式混合 ARQ, 并且在接收端自适应地选择合并可靠性较高的传输码块。本文对其在瑞利衰落信道中的性能作了理论分析, 并且进行了仿真, 同时与传统的 Chase 合并方式混合 ARQ 以及 IR 方式混合 ARQ 作了性能比较。比较结果显示本文的算法在瑞利信道中比传统算法具有更为优异的性能以及相似的复杂度。

**关键词:** 混合 ARQ; 速率兼容截断 Turbo 编码; 自适应选择合并; Chase 合并; 增量冗余  
**中图分类号:** TN929 **文献标识码:** A

## Adaptive selective combining Hybrid ARQ based on RCPT codes

YAN Qi-ben, HU Bo

(Department of Electronics Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China)

**Abstract:** Hybrid Automatic Repeat reQuest(Hybrid ARQ) which is an excellent error control technique has been accepted as a key technique of 3GPP Long Term Evolution(LTE). Hybrid ARQ scheme based on Rate Compatible Punctured Turbo(RCPT) codes has outstanding performance and low implementation complexity, therefore this scheme has attracted wide concern. Traditional Hybrid ARQ schemes consist of Chase Combining based Hybrid ARQ(CC-HARQ) which has greater performance gain under higher channel SNR; and IR(Incremental Redundancy) based Hybrid ARQ which provides precise rate control under lower channel SNR. This paper proposes an Adaptive Selective Combining Hybrid ARQ(ASC-HARQ) which adaptively chooses CC-HARQ or IR-HARQ according to different channel SNR, while the receiver adaptively combines selected code blocks with high reliability. This paper analyzes the scheme's performance in Rayleigh fading channel. Simulation results are given to compare the performance of this novel scheme with that of CC-HARQ and IR-HARQ. According to the simulation results, this scheme performs better than traditional schemes with similar complexity.

**Key words:** Hybrid ARQ; RCPT codes; adaptive selective combining; Chase combining; Incremental Redundancy

新一代移动通信 4G 系统<sup>[1]</sup>对差错控制技术的要求很高。将来的无线业务, 多是上下行不对称、突发性的分组数据业务, 对时延要求不高, 却对数据传输质量有很高要求; 无线传播环境特别复杂, 不仅存在各种衰落、移动引起的多普勒频移, 而且同时还受到各种干扰和噪声的影响, 容易引起随机差错和突发错误, 严重影响传输质量。前向纠错编码(Forward Error Correction, FEC)和自动重传请求(Automatic Repeat request, ARQ)是两种有效的差错控制技术。FEC 根据信道特征为系统选择固定的码率方案以及可以接受的误码率性能, 而 ARQ 可以自适应地抵消信道的变化。因此这两种差错控制技术的结合混合 ARQ 技术<sup>[2]</sup>既利用了 FEC 的差错预测性能, 又吸收了 ARQ 速率可调的优势, 将带来极高的性能增益。

收稿日期: 2009-11-01; 修回日期: 2009-12-10

基金项目: 专用集成电路与系统重点实验室开放基金资助项目(KF20080403); 国家自然科学基金资助项目(60672047)

Turbo 编码<sup>[3]</sup>的出现给编码领域带来了全新的研究热点。尽管 Turbo 编码具有优异的比特误码性能,当系统需要实现无差错传输时仍需引入 ARQ 技术,由此就出现了 Turbo 编码的混合 ARQ 技术。研究人员将卷积码与 ARQ 相结合,开发了速率匹配截断卷积(Rate-Compatible Punctured Convolutional, RCPC)编码<sup>[4]</sup>,在此基础上 Rowitch 将 Turbo 编码与 ARQ 相结合,带来了性能更为优异的速率兼容截断 Turbo(RCPT)编码<sup>[5]</sup>。现有系统采用了基于 RCPT 的 Chase 合并方式或增量冗余 IR 方式的混合 ARQ 算法。Chase 合并方式混合 ARQ<sup>[6]</sup>,重传码字简单地重复原始码字,在接收端进行最大比合并,实现简单,所需的缓存小,但是在低信噪比条件下吞吐量比较低;IR 方式重传码字为递增冗余信息,收发两端需要较大的缓存,系统实现比较复杂,在高信噪比条件下重传获得的增益较少。本文采取折衷的方式,选取信噪比(Signal to Noise Ratio, SNR)门限,当信道条件较好时,采用 Chase 合并方式进行重传,得到信号能量增益;当信道条件较差时,采用 IR 方式进行重传,得到额外编码增益。

对于非平稳时变瑞利衰落信道,误码是突发的。在信道的深衰落周期中,带有信息码或者冗余码的重发数据包将会由于突发错误而被严重损坏,而不能帮助恢复数据。传统的合并方式在这种情形下不能提高性能,甚至可能降低性能。本文采用自适应选择合并的方案,即接收端有选择地合并接收码块,避免合并严重损坏的码块。这种方式可以在瑞利衰落信道中改善吞吐率性能。现有文献也提出了一些自适应混合 ARQ 算法:文献[7]提出了基于里德-索罗门(Reed-Solomon, RS)编码的自适应混合 ARQ 算法,它通过反馈信息计算出来的累积误帧率来自适应地调整发送码率;文献[8]中通过简单地调整重传码字的调制编码集合(Modulation and Coding Sets, MCS)来实现自适应混合 ARQ 对抗信道衰落;文献[9]提出了基于卷积码的自适应调整码率的混合 ARQ 算法和自适应增量冗余的混合 ARQ 算法;而文献[10]提出了与本文同样采用 RCPT 编码的自适应混合 ARQ 算法,它根据之前  $N$  个重传数据包的接收状态来决定当前重传包中使用的冗余比特信息,但是这种自适应方式并不能很好地跟踪快速的信道变化,它是以牺牲吞吐率为代价达到减少重传延时的目的,它比传统的方式减少了重传次数,提高了传输效率,但是损失了一定的吞吐率性能。综上,本文结合现有方法的优势,提出一种新型的基于 RCPT 编码的自适应选择合并混合 ARQ 算法,将在一定的系统复杂度损耗下提高系统吞吐率性能,下文将描述新算法,接着分析 Turbo 编码自适应混合 ARQ 系统的性能,并进行仿真验证。

## 1 基于 RCPT 的自适应选择合并混合 ARQ 算法

### 1.1 RCPT 编解码实现方案

编码系统的一般过程为:将二进制数据源编码成低冗余的 CRC 检错码,将 CRC 检错码输入 Turbo 编码器进行编码,接着进行 RCPT 速率匹配。输入序列  $X$  经过 Turbo 编码器生成  $X, X', Y_1, Y_2$ , 其中  $X'$  为交织后的  $X$ ,  $Y_1, Y_2$  为两个校验序列。编码后将  $X'$  丢弃,输出  $X, Y_1, Y_2$  进行 RCPT 速率匹配。RCPT 速率匹配过程如下:将每一个长度为  $N$  系统,校验码字序列分隔成  $N/P$  大小的子块,其中  $P$  为截断周期。然后通过乘以一个截断矩阵,选取某些子块进行传输以达到调整码率的目的。

Chase 合并方式混合 ARQ 重传时的截断矩阵与原始包的截断矩阵相同,均包含系统码字;IR 方式混合 ARQ 重传时的截断矩阵主要截去初次传输的比特位,以使重传包中包含额外的冗余信息。

RCPT 编码可实现的输出码字码率为:

$$R_l = \frac{P}{P+l}, l=0,1,\dots,(M-1)P \quad (1)$$

式中  $1/M$  为 Turbo 编码的输出码率,本文中为  $1/3$ 。Turbo 编码框图如图 1 所示。

RCPT 解码包括 RCPT 解速率匹配以及 Turbo 解码。RCPT 解速率匹配与 RCPT 速率匹配的方案相逆,原先截断的部分补回数据 0。在软解码系统中,数据 0 表示数据不可确定,即各有 50% 的概率为 1 或者为 0。

Turbo 解码的框图如图 2 所示。Turbo 解码采用软输入软输出的反馈递推迭代算法,解码过程是通过 2 个子

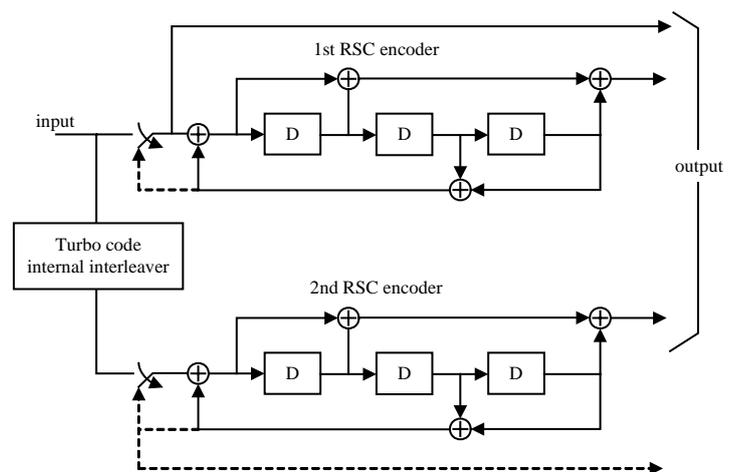


Fig.1 Block diagram of Turbo encoder  
图 1 Turbo 编码器框图

解码器交错迭代解码来实现的，2 个子解码器之间通过由反馈附加的外信息建立相互联系。外信息在 2 个子解码器之间传输形成了 Turbo 解码的循环迭代结构。外信息  $L_{e1}, L_{e2}$  是由解码器 I(II)向解码器 II(I)提供的辅助信息。对于解码器 I 而言，其输出的软判决信息为  $L(X_i)=AX+BL_{e2}+L_{e1}$ ，前 2 项与当前接收的系统符号  $X$  相关，最后一项表示由其他接收码字提供的信息，与解码器 II 无关，因此可以作为外信息输入解码器 II。在外信息的作用下，一定信噪比下的误码率随着迭代次数增加而减少。同时内外信息的相关性也逐渐增大，即由外信息提供的纠错能力逐渐减少，直到达到饱和，可以进行进一步判决。本文采取 Log-Map 解码算法，进行 3 次循环迭代。

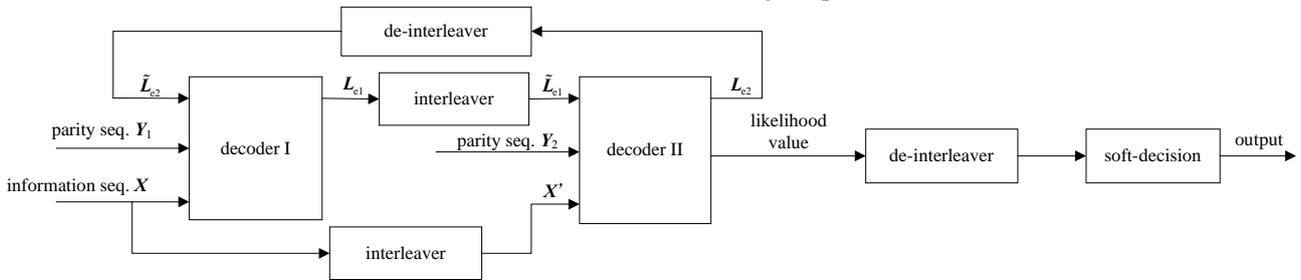


Fig.2 Block diagram of Turbo decoder  
图 2 Turbo 解码器框图

1.2 自适应选择合并混合 ARQ 算法

Chase 合并方式的混合 ARQ 通过重传码字提供信号能量增益，在信道条件较好(SNR 较高)时，提供比较大的合并增益；IR 方式的混合 ARQ 通过重传码字提供额外编码增益，其在信道条件较好时，冗余编码获得增益较少，而其在信道条件恶劣时，提供了精细的码率控制，可以达到很好的性能增益。因此通过将两种方式结合，在信道条件恶劣时选择码率控制更为精确的 IR 方式，在信道条件较好时选择带来更大增益的 Chase 合并方式。

此外，考虑到衰落信道的时变特性，接收端单次合并的方式有可能不能带来性能增益，甚至可能产生不可纠正的错误码字。然而选择合并方式会对接收码字进行自适应的选择性合并，就确保了合并不会带来性能损失。如图 3 所示。

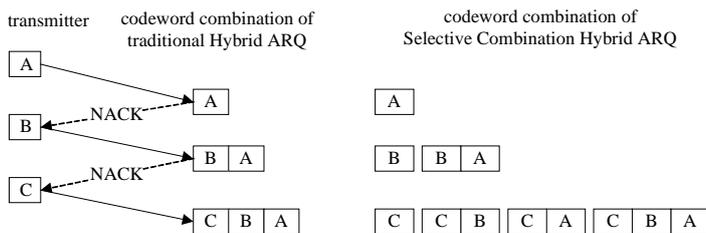


Fig.3 Diagram of selective combination method  
图 3 选择性合并示意图

上图中 A 为原始包，B 和 C 为重传包，若 B 和 C 均可自解码，则产生了以上多种合并码字。然而 Turbo 解码有一定的延时与计算量，多次合并版本意味着多次 Turbo 解码，则会增加系统的运行延时和计算复杂度。如图 4，本文提出的自适应选择性合并方式考虑了这一点，具体流程如下：

a) 第一次重传时，接收到的码字与缓存中的码字进行合并解码，并在缓存中保存合并码字。若解码失败，则判断接收码字是否为自解码码字，若是则对其进行自解码。若解码成功，返回 ACK；若解码失败，返回 NACK。同时比较重传包与原始包的信道 SNR 估计值，接收端缓存中保存 SNR 较大的包，删除 SNR 较小的包。

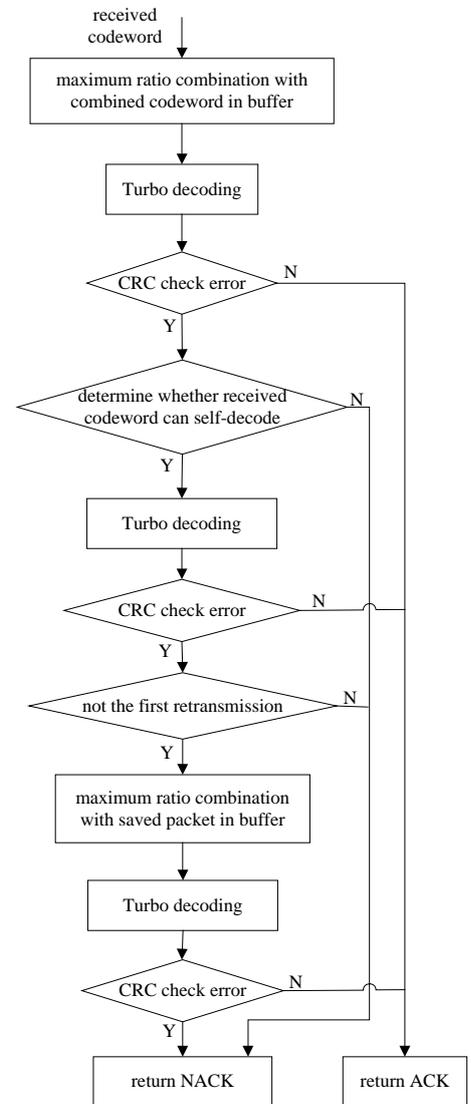


Fig.4 Flow chart of Adaptive Selective Combination scheme  
图 4 自适应选择性合并流程图

b) 第二次重传时, 首先接收到的码字与缓存中前面几次传输合并码字进行合并解码, 并在缓存中保存合并码字。若解码失败, 则判断接收码字是否为自解码码字, 若是则先进行自解码, 若解码失败, 再将此次重传包与缓存中保留的单个包结合进行解码, 以上 3 次解码, 若有 1 次成功, 则返回 ACK; 若均解码失败, 则返回 NACK。同时继续比较重传包与保留包的信道 SNR 估计值, 接收端缓存中保存 SNR 较大的包, 删除 SNR 较小的包。

c) 此后的重传均与 b) 中相似, 直到达到最大重传次数, 丢弃该包。

上述自适应选择合并方式混合 ARQ(ASC-HARQ)最多进行 3 次 Turbo 解码, 而且通过比较信道 SNR 估计值来确定数据包的可靠性, 保留可靠性高的数据包, 并可与新重传数据包再次合并来尝试恢复数据。

本文中对 1/2 以上的高码率进行性能探讨。选取原始母码的码率为 1/2 和 3/5, 截断周期取为 6, 最大重传次数为 2。下面提供 1/2 码率的 RCPT 在 IR 方式混合 ARQ 条件下的原始母码截断矩阵, 第 1 次重传截断矩阵、第 2 次重传截断矩阵分别为:

$$\mathbf{P}_{\text{orig}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P}_{r1} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P}_{r2} = \mathbf{P}_{\text{orig}}$$

在第 1 次重传合并后, 码率即达到了可以实现的最小码率 1/3。所有的重传码字均可进行自解码, 提供选择合并增益。3/5 码率的 RCPT 的 3 个截断矩阵为:

$$\mathbf{P}_{\text{orig}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P}_{r1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P}_{r2} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

二次重传之后码率达到可以实现的最小码率 1/3。对于 Turbo 编码截去少部分系统码同样可以进行自解码, 因此第 2 次重传码字尽管截去了部分系统码, 但是同样可以进行自解码, 而且提供了更多的冗余信息。

## 2 性能理论分析

在本节中, 给出了一种对 Turbo 编码混合 ARQ 系统性能的分析方法。首先定义一个编码系统的对偶错误概率(Pairwise Error Probability, PEP)<sup>[11]</sup>: 当发送码字为  $c=[c(1), c(2), \dots, c(N)]$  时, 检测到错误码字  $e=[e(1), e(2), \dots, e(N)]$  的概率。对于使用 BPSK 调制, 一致检测最大似然解码的二进制编码, 该编码系统的 PEP 相对于瞬时接收 SNR 值  $\gamma=[\gamma(1), \gamma(2), \dots, \gamma(N)]$  的函数可以写为:

$$P(c \rightarrow e | \gamma) = Q\left(\sqrt{2 \sum_{n \in \eta} \gamma(n)}\right) \quad (2)$$

式中:  $Q(x)$  为高斯  $Q$  函数,  $\gamma(n)$  为对于比特  $n$  的瞬时接收 SNR。 $\eta$  为  $c(n) \neq e(n)$  的所有  $n$  的集合。 $\eta$  的元素个数  $d$  即为错误事件的汉明距离。设传输码字  $c$  为全零码字, 则 PEP 仅仅依赖于  $d$ , 可表示为  $P(d | \gamma)$ 。

慢衰落情况下,  $\gamma(n) = \gamma$  对于  $n=1, \dots, N$  保持不变。进行一次重传的 PEP 为:

$$P(d | \gamma) = Q\left(\sqrt{2(d_1 + d_2)\gamma}\right) \quad (3)$$

式中  $d_1$  和  $d_2$  分别为两次传输不同的汉明重量, 总的汉明重量为  $d$ 。根据文献[11]中的化简方法:

$$P(d) \leq \frac{1}{2} \left( \frac{1}{1 + (d_1 + d_2)\gamma} \right) \quad (4)$$

式中  $\bar{\gamma}$  是信道平均 SNR。

Turbo 编码中, 对每个码块考虑码重累积函数(Weight Enumerating Function, WEF), 使用概率一致均匀交织器<sup>[12]</sup>概念, Turbo 编码的码块 WEF 来自于各个 RSC 编码器产生的码块 WEF。设  $C_1$  和  $C_2$  为 2 个 RSC 编码器, 内交织器的长度为  $K$ 。  $C_1$  和  $C_2$  的码块条件 WEF 分别为  $A_w^{C_1}(Z)$ ,  $A_w^{C_2}(Y)$ , 使用概率一致均匀交织器, Turbo 编码的码块条件 WEF 为:

$$A_w^C(Z, Y) = A_w^{C_1}(Z) \times A_w^{C_2}(Y) \times \binom{K}{w}^{-1} \quad (5)$$

式中:  $Z$  和  $Y$  为虚变量,  $C_1$  和  $C_2$  的 WEF 相互独立。

一个码块的条件 WEF 为  $A_w^C(Z)$  给定了重量为  $w$  的输入序列集合产生的所有可能的码字。在文献[12]中论述了如何得到码块的 WEF, 由此可以得到  $a_{w,d}$ , 即输入重量为  $w$ , 输出重量为  $d$  的所有可能码字的个数。

Turbo 编码的误码率(Bit Error Ratio, BER)和误包率(Block Error Ratio, BLER)<sup>[12]</sup>如下：

$$P_b(\gamma) \leq \sum_{z=0}^K \sum_{y=0}^K \sum_{w=1}^K \frac{w}{K} a_{w,z,y} P(d|\gamma) \tag{6}$$

$$P_{\text{block}}(\gamma) \leq \sum_{z=0}^K \sum_{y=0}^K \sum_{w=1}^K a_{w,z,y} P(d|\gamma) \tag{7}$$

$a_{w,z,y}$  表示输入码字重量为  $w$ ，冗余码字重量为  $z$  和  $y$  可能的码字的个数，可以从相应的编码码块 WEF:  $A_w^c(Z, Y)$  获得。 $P(d|\gamma)$  为相应的 PEP 表达式。

在 Chase 合并方式混合 ARQ 中，PEP 式中  $d_1$  和  $d_2$  都为  $w$  和  $z$  的重量和。在 IR 方式混合 ARQ 中，PEP 式中  $d_1$  为  $w$  和  $z$  的重量和， $d_2$  为  $y$  的重量。

由式(6)和式(7)可以得到 Turbo 编码的 Chase 合并混合 ARQ 以及 IR 方式混合 ARQ 的误码率和误包率。本文提出的 ASC-HARQ 算法的误码率和误包率性能小于 2 种传统方式的最小值：

$$P_b(\gamma) \leq \min(P_{\text{Chase-ber}}(\gamma), P_{\text{IR-ber}}(\gamma)); P_{\text{block}}(\gamma) \leq \min(P_{\text{Chase-block}}(\gamma), P_{\text{IR-block}}(\gamma)) \tag{8}$$

### 3 系统仿真

本文的仿真系统由 Matlab 实现，该仿真系统对现有 RCPT 编码的 Chase 合并方式混合 ARQ(CC-HARQ)，IR 方式混合 ARQ(IR-HARQ)以及本文提出的自适应选择合并混合 ARQ(ASC-HARQ)进行了性能仿真。通过系统吞吐率来对仿真结果进行比较。仿真系统框如图 5 所示。

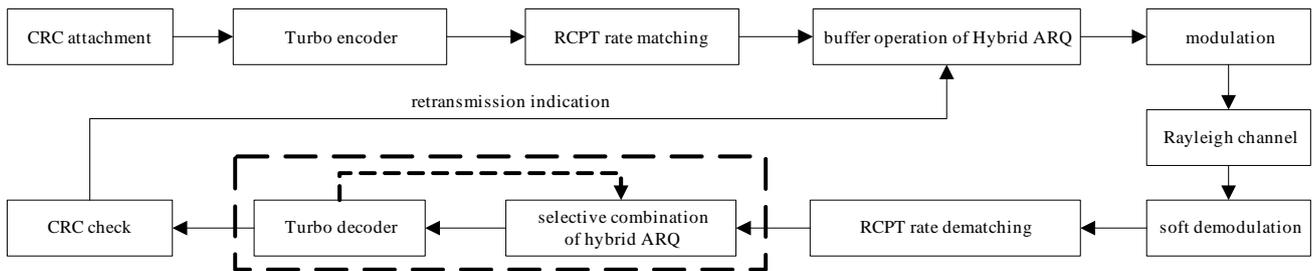


Fig.5 Simulation system block diagram

图 5 仿真系统框图

上图虚框内的部分为自适应选择合并算法，详细说明见 1.2。

检错码用 LTE<sup>[10]</sup>指定的 CRC-24 编码： $g(D)=[D^{24} + D^{23} + D^{18} + D^{17} + D^{14} + D^{11} + D^{10} + D^7 + D^6 + D^5 + D^4 + D^3 + D^1 + 1]$

Turbo 编码中 RSC 编码器的生成多项式为： $g_1(D)=[1 + D^2 + D^3]$ ， $g_2(D)=[1 + D^1 + D^3]$ 。

Turbo 内交织器采用 LTE 标准<sup>[13]</sup>中采用的 QPP 交织器。所有混合 ARQ 方式的接收端合并均采用最大比合并。

Turbo 解码器采用 Log-MAP 解码算法，循环迭代 3 次。仿真终止条件为数据帧达到 5 000 个，或者错误帧达到 500 个。仿真参数配置见表 1。

表 1 仿真参数配置表

Table1 Simulation parameter configuration table

setting parameter	value/method
frame length	6 056
code rate of turbo encoder	1/3
transmission code rate	1/2,3/5
Hybrid ARQ scheme	CC-HARQ,IR-HARQ,ASC-HARQ
retransmission scheme of Hybrid ARQ	selective retransmission scheme
retransmission times of Hybrid ARQ	2
delay of feedback information	3 TTI
modulation type	QPSK
channel type	Rayleigh fading channel with single path
Turbo decoding scheme	Log-MAP algorithm
iterative times of Turbo decoder	3

图 6 和图 7 为 1/2 码率与 3/5 码率 QPSK 调制下的不同混合 ARQ 算法在瑞利衰落信道的吞吐率性能比较图。图 6 中 ASC-HARQ 发送端切换门限为 8 dB，图 7 中 ASC-HARQ 发送端切换门限为 10 dB。

由图 6 和图 7 可以看到 ASC-HARQ 比传统的混合 ARQ 算法提供了更高的性能增益，且在低信噪比时提供的性能增益较大。

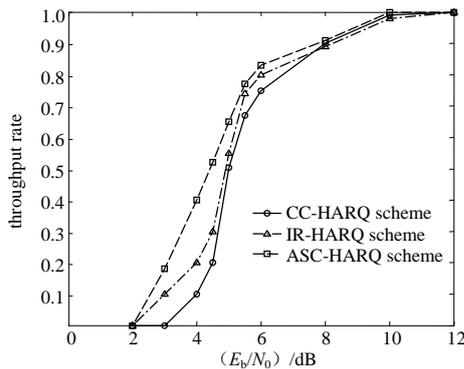


Fig.6 Throughput rate performance comparison of various hybrid ARQ algorithm in Rayleigh fading channel with 1/2 code rate and QPSK modulation method

图6 采用 1/2 码率 QPSK 调制的不同混合 ARQ 算法在瑞利衰落信道中的吞吐率性能比较

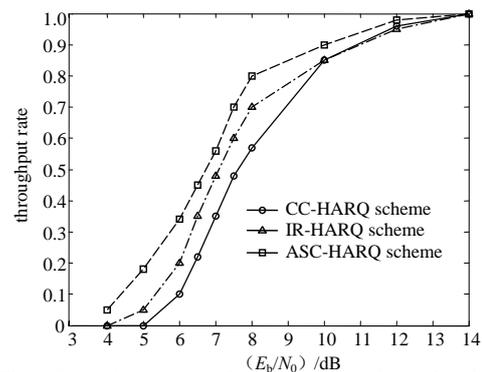


Fig.7 Throughput rate performance comparison of various hybrid ARQ algorithm in Rayleigh fading channel with 3/5 code rate and QPSK modulation method

图7 采用 3/5 码率 QPSK 调制的不同混合 ARQ 算法在瑞利衰落信道中的吞吐率性能比较

#### 4 结论

应对瑞利衰落信道导致的传输可靠性低的问题,提出基于 RCPT 编码的自适应选择合并混合 ARQ 算法,为 Turbo 编码混合 ARQ 算法提供理论分析方法。在瑞利衰落信道仿真中,与各种传统混合 ARQ 算法包括 Chase 合并混合 ARQ 算法和 IR 方式混合 ARQ 算法,进行性能比较,结果显示本算法具有比较好的性能增益,并且复杂度在可以接受的范围内,因此可以作为一种应用于实际传输系统的提高系统性能的候选混合 ARQ 算法。

#### 参考文献:

- [1] 鲜其羽,王正勇,吴小强. 第4代移动通信的几种制式特点及应用前景[J]. 信息与电子工程, 2008,6(2):120-123.
- [2] Costello D J,Hagenauer J,Imai H,et al. Applications of error-control coding[J]. IEEE Trans. Inform. Theory, 1998,44(6):2531-2560.
- [3] Berrou C,Glavieux A,Thitimajshima P. Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: Turbo codes[C]// Proc. ICC'93. Piscataway:IEEE Service Centre, 1993:1064-1070.
- [4] Hagenauer J. Rate compatible punctured convolutional codes(RCPC Codes) and their applications[J]. IEEE Trans. Commun., 1988,36(4):389-400.
- [5] Rowitch D N,Milstein L B. On the performance of hybrid FEC/ARQ systems using rate compatible punctured turbo (RCPT) codes[J]. IEEE Trans. Commun., 2000,48(6):948-959.
- [6] Chase D. Code combining-A maximum likelihood decoding approach for combining an arbitrary number of noisy packets[J]. IEEE Trans. Commun., 1985,33(5):385-393.
- [7] Choi S,Shin K G. A class of adaptive hybrid ARQ schemes for wireless links[J]. IEEE Trans. Veh. Technol., 2001,50(3):777-790.
- [8] Das A,Khan F,Nanda S. A<sup>2</sup>IR: An asynchronous and adaptive hybrid ARQ scheme for 3G evolution[C]// IEEE Vts 53rd Vehicular Technology Conference, 2001, Rhodes, Greece: [s.n.], 2001,1:628-632.
- [9] Kallel S. Efficient hybrid ARQ protocols with adaptive forward error correction[J]. IEEE Trans. Commun., 1994,42(234): 281-289.
- [10] Lu Y P,Wu W L. An adaptive type-II hybrid ARQ scheme based on rate compatible turbo codes[C]// IEEE 60th Vehicular Technology Conference, 2004, Los Angeles: [s.n.], 2004,3:1991-1995.
- [11] Janani M,Hedayat A,Hunter T E,et al, Coded Cooperation in Wireless Communications: Space-Time Transmission and Iterative Decoding[J]. IEEE Trans. Signal Processing, 2004,52(2):362-371.
- [12] Benedetto S,Montorsi G. Unveiling turbo codes: Some results on parallel concatenated coding schemes[J]. IEEE Trans. Inform. Theory, 1996,42(2):409-428.
- [13] 3GPP Organizational Partners. 3GPP TS 36.212 V8.7.0 (2009-05)[S]. Valbonne, France:3GPP support office, 2009.

#### 作者简介:



严奇犇(1986-),男,浙江省奉化市人,在读硕士研究生,主要从事无线通信链路自适应技术(如 AMC 和混合 ARQ 算法)及合作通信技术的研究.email:yanqibin@gmail.com.

胡波(1968-),男,江苏省常州市人,教授,博士生导师,主要从事数字信号处理、数字通信等方面的研究。