

车联网中基于有效信噪比的 HARQ-CGM 系统性能研究

余作奔,吕心浩,岑 岗,王中鹏,吴茗蔚

(浙江科技学院 信息与工程学院,杭州 310023)

摘 要: 针对重传协议的重传能耗问题,对信道增益监测(CGM)技术进行研究,给出了 CGM 接收端码字接收概率与系统平均传输次数的关系函数,并在车联网中引入了 CGM 技术。仿真结果表明,只有当有效信噪比大于最小有效信噪比时,CGM 技术才能提高车联网 HARQ-CGM 系统的可靠性。在低传统信噪比下,CGM 技术不仅未能明显提高系统的可靠性,还增加了系统的重传能耗,此时系统到达指定误比特率所需实际有效信噪比大于车联网 HARQ 系统。此外,随着信道增益阈值的增加,系统的最小有效信噪比逐渐增加。

关键词: 车联网;长期演进技术-车载通信;有效信噪比;信道增益监测;混合自动重传请求协议

中图分类号: TN761.92

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2018)06-0468-06

Performance of HARQ-CGM in internet of vehicles based on effective SNR

YU Zuoben, LYU Xinhao, CEN Gang, WANG Zhongpeng, WU Mingwei

(School of Information and Electronic Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: In response to the retransmission energy consumption problem of the retransmission protocol, channel gain monitoring (CGM) was resorted to and incorporated in internet of vehicles (IOV) by studying the performance of CGM and formulating the acceptance probability as a function of the average number of transmissions. The simulation results showed that CGM could improve reliability of the HARQ-CGM system only when the effective signal-to-noise ratio (SNR) was greater than the minimum effective SNR. At low conventional SNR, CGM not only failed to improve reliability of the system, but also results in an increase in the retransmission energy consumption of the system. Therefore, the actual effective SNR required by the system to reach the specified bit error rate (BER) was greater than HARQ in IOV. In addition, as the channel gain threshold increased, the minimum effective SNR of the system gradually increased.

收稿日期: 2018-06-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(61302112;61571316);浙江省“钱江人才计划”D类项目(QJD1402023);教育部留学回国人员科研启动基金项目(教外司留[2013]1792号);浙江科技学院“科大青年英才”项目(浙科院人[2014]9号)

通信作者: 岑 岗(1959—),男,浙江省象山人,教授,主要从事信息化教学与项目教学研究。E-mail:gcen@163.com。

Keywords: internet of vehicles (IOV); long term evolution-vehicle (LTE-V); effective signal-to-noise ratio (SNR); channel gain monitoring (CGM); hybrid automatic repeat request (HARQ)

智能交通系统(intelligent transportation system, ITS)是一个综合了信息、计算机、传感器及人工智能等先进技术的综合运输管理系统。通过行人、车辆及道路基础设施之间的紧密配合,ITS在一定程度上可以减少交通拥堵和事故的发生,并降低能源消耗和缓解环境恶化^[1]。车联网是 ITS 的一项关键技术,主要负责行人、车辆及道路基础设施之间的无线连接^[2]。车辆对外界信息交互技术(vehicle to everything, V2X)是 ITS 的核心通信网络,承担了车联网中各个节点之间的信息流通任务,在车联网中扮演了核心的信息通道角色^[3]。

车联网采用混合自动重传请求(hybrid automatic repeat request, HARQ)^[4]协议来提高系统的可靠性^[5-6]。重传协议采用简单的重传机制来降低系统的差错率,但每次重传都需消耗相应能量。文献[7-8]在研究重传系统的可靠性时均未考虑系统的重传能耗。在重传系统中,为了更好地满足瞬时接收包差错中断(instantaneous accepted packet error outage, IAPEO)的性能要求,文献[9]提出了信道增益监测(channel gain monitoring, CGM)技术,即接收端只接收信道增益大于预先设定的信道增益阈值的码字。文献[10]推导了 ARQ-CGM 系统的 IAPEO、吞吐量及有效吞吐量性能,通过选择适当的信道增益阈值,ARQ-CGM 系统可在任一传统信噪比下达到 IAPEO 的性能要求。然而在 ARQ-CGM 系统中,ARQ 和 CGM 技术都会增加系统的重传次数,基于传统信噪比将不能真实反映 ARQ-CGM 系统的实际性能。传统信噪比定义为接收端输入处的单位比特能量与噪声功率谱密度的比值,该定义虽反映出系统单次发射的能耗要求但未体现系统整体的重传耗能。为了真实反映重传系统为达到指定误比特率(bit error rate, BER)所需的实际性能,文献[11]定义能效为能耗吞吐量与码字被正确接收概率的乘积,其中能耗吞吐量为码字中负载的能耗与总能耗的比值。文献[12]基于能效的定义得出 ARQ 系统的能效与最大重传次数无关。虽然能效同时考虑了系统的能耗与可靠性,但未表明信噪比与可靠性的关系。笔者在文献[13]中提出了有效信噪比这一概念,有效信噪比在传统信噪比的基础上同时考虑了校验位与重传能耗的开销。相比传统信噪比,有效信噪比更公平地反映了重传系统的实际性能。在上述研究的基础上,本文在车联网系统中引入 CGM 技术,基于有效信噪比对车联网 HARQ-CGM 系统的可靠性进行了研究。

1 系统模型

长期演进技术-车载通信(long term evolution-vehicle, LTE-V)被认为是实现车联网的重要基石,在 LTE-V 下行链路传输系统中,发射端以传输块的形式将数据从媒体接入控制层(media access control, MAC)传至物理层,其系统如图 1 所示。系统发射端的数据处理过程可分为传输块处理和物理信道处理。其中,传输块处理包括循环冗余校验(cyclic redundancy check, CRC)编码、子块分割、信道编码、速率匹配及码字重组等模块;物理信道处理包括加扰、调制、层映射、发射分集预编码、资源元素映射及正交频分复用(orthogonal frequency division multiplexing, OFDM)调制等模块。

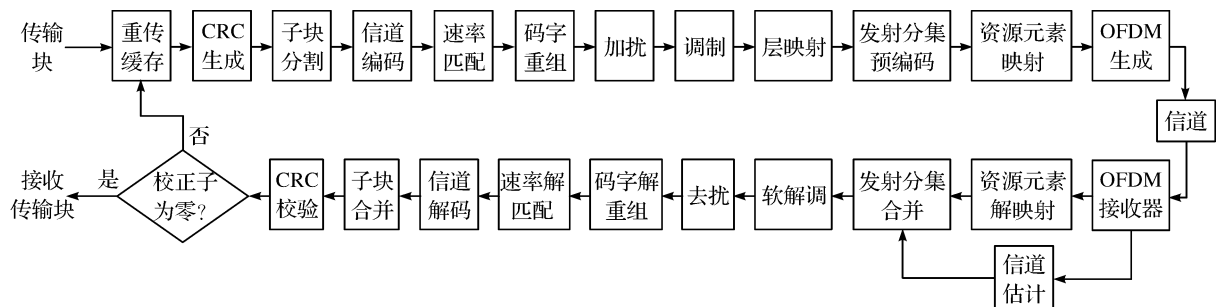


图 1 长期演进技术-车载通信下行链路系统

Fig. 1 LTE-V downlink system

接收端的数据处理过程可视为发射端的逆过程。接收信号经过物理信道处理和传输块处理后进行 CRC 校验并判断校正子。若校正子为零,则接收端接收该传输块;否则接收端通过反馈信道向发射端发送重传请求,重传持续到校正子判断为零或达到重传次数的上限为止。

2 ARQ-CGM 系统

2.1 CGM 技术

在传统 ARQ 系统中,当信道估计的均方误差大于最大允许的均方误差或传统信噪比小于某个传统信噪比阈值时,系统将无法达到 IAPEO 的性能要求^[9]。为确保系统总能达到 IAPEO 的性能要求,文献[9]首次提出了 CGM 技术,即在接收端预先设定一个信道增益阈值,接收端只接收信道增益大于该阈值的码字,该码字的信道估计均方误差较小,可满足最大允许的均方误差要求,其系统如图 2 所示,接收端首先进行信道估计,若信道增益的估计值 \hat{h} 大于预先设定的阈值 $|h_{TH}|$,则接收端接收该码字;否则接收端丢弃该码字并请求重传,重传持续到该码字被成功接收或重传次数达到上限为止。

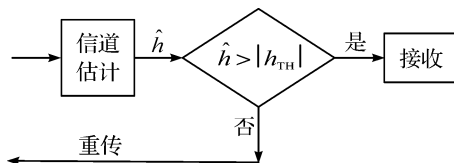


图 2 CGM 系统接收端的结构

Fig. 2 Receiver structure of CGM system

在移动通信系统中,码字传输时会受到多径干扰、多普勒频移及噪声干扰。为简化问题,现考虑一个瑞利衰落信道下的简单移动通信系统。设每个码字周期内的信道环境不变,则接收端的接收码字可以表示为^[14]:

$$y = hx + n. \quad (1)$$

式(1)中: h 为信道增益; x 为发送码字; n 是均值为 0、方差为 σ^2 的复高斯白噪声。若发射端等概率发送码字,则接收端输入处的传统信噪比可以表示为:

$$\gamma = \frac{E(|hx|^2)}{N_0} = \frac{|h|^2 E_b}{N_0}. \quad (2)$$

式(2)中: N_0 为噪声的单边功率谱密度; E_b 为接收端输入处的单位比特能量。由式(2)可知,传统信噪比会随 $|h|^2$ 增加而增加。信噪比越大接收码字的差错率越小,故当信道增益的模 $|h|$ 较小时,该接收码字的差错率较高。若该码字被接收端成功接收,则会降低系统的可靠性。CGM 系统接收端成功接收码字的传统信噪比 γ_s 可以表示为:

$$\gamma_s = \frac{|h|^2 E_b}{N_0} \geq \frac{|h_{TH}|^2 E_b}{N_0}. \quad (3)$$

由式(3)可知,采用 CGM 技术后,系统接收端成功接收码字的传统信噪比将大于预先设定的阈值,从而在一定程度上提高了系统的可靠性。在瑞利衰落系统中,信道增益的幅度 $|h|$ 服从瑞利分布,其概率密度函数^[15]可以表示为:

$$f_R(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right). \quad (4)$$

基于式(4),CGM 系统接收端成功接收一个码字的概率可以表示为:

$$P_{\gamma_s}(h_{TH}) = \int_{h_{TH}}^{+\infty} f_R(r) dr = \int_{h_{TH}}^{+\infty} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) dr = \exp\left(-\frac{|h_{TH}|^2}{2\sigma^2}\right). \quad (5)$$

由文献[13]可知,重传系统的平均传输次数与接收概率成反比,与最大重传次数无关。因而 CGM 系统的平均传输次数可以表示为:

$$E[L_{CGM}] = P_{\gamma_s}^{-1}(h_{TH}) = \exp\left(\frac{|h_{TH}|^2}{2\sigma^2}\right). \quad (6)$$

式(6)中: L_{CGM} 为 CGM 系统成功接收一个码字所需的传输次数。式(6)的数值计算结果如图 3 所示。由数值计算结果可知,平均传输次数随着信道增益阈值的增加而快速增加,呈指数增涨趋势。因此,当信道增益阈值较大时,系统的重传能耗不能被忽略,传统信噪比不能真实反映重传系统的实际性能。

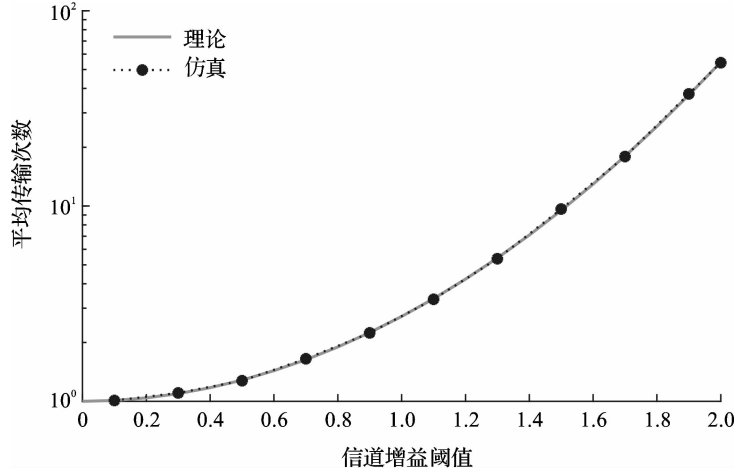


图3 信道增益阈值与平均传输次数的关系

Fig. 3 Relationship between channel gain monitoring threshold and average number of transmission

图4为ARQ-CGM系统接收端的结构^[9]。ARQ-CGM系统在CGM系统的基础上增加了CRC校验。接收端对接收信号进行CGM技术处理后还需进行CRC校验,若校正子为零,则将该码字传递给用户;否则丢弃该码字并再次请求重传。相比CGM系统,ARQ-CGM系统进一步增加了系统的重传能耗。

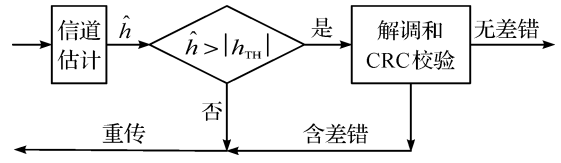


图4 ARQ-CGM系统接收端的结构

Fig. 4 Receiver structure of ARQ-CGM system

为真实反映重传系统的实际性能,文献[13]给出了有效信噪比:

$$\gamma_e = \frac{m}{k} E[L] \gamma_s = \frac{m}{kP} \gamma_s. \quad (7)$$

式(7)中: k 为二进制消息序列的信息长度; m 为二进制消息序列的长度; L 为ARQ-CGM系统成功接收一个码字所需的传输次数; P 为ARQ-CGM系统成功接收一个码字的概率。

2.2 仿真结果

对上述ARQ-CGM系统进行仿真。系统采用二进制相移键控(binary phase shift keying, BPSK)和相干解调,校验码采用CRC-4,信道环境为瑞利衰落信道。图5为瑞利衰落信道下ARQ-CGM系统的平

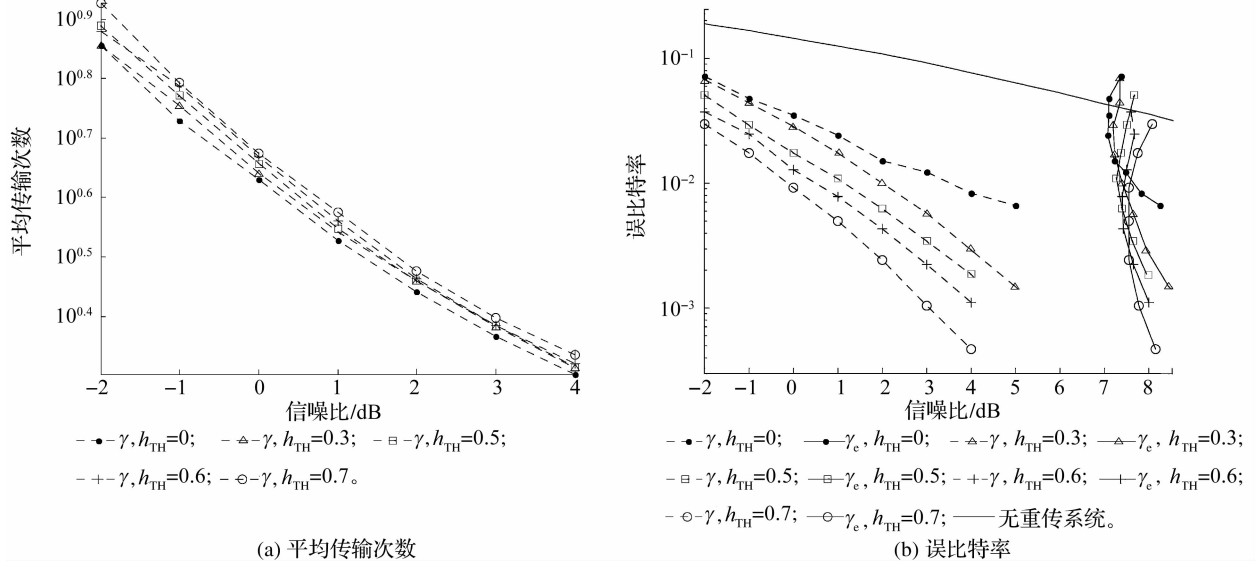


图5 瑞利衰落信道下ARQ-CGM系统性能

Fig. 5 ARQ-CGM system performance in Rayleigh fading channels

均传输次数和误比特率性能。以传统信噪比为基准比较时,ARQ-CGM 系统的误比特率随着信道增益阈值的增加而逐渐降低。如图 5(a)所示,ARQ-CGM 系统的平均传输次数相对 ARQ 系统增加较少,因而有效信噪比下的误比特率曲线右移不明显。此时,CGM 技术提高了 ARQ-CGM 系统的可靠性。如图 5(b)所示,基于有效信噪比,当信道增益监测的阈值为 0.3、传统信噪比大于 2 dB 时,ARQ-CGM 系统的误比特率低于 ARQ 系统。此时,CGM 技术可以提高 ARQ-CGM 系统的可靠性。当传统信噪比小于 2 dB 时,ARQ-CGM 系统的误比特率高于 ARQ 系统,此时 CGM 技术产生的系统可靠性收益低于能耗代价。因此,ARQ-CGM 系统的实际所需有效信噪比高于 ARQ 系统。将该有效信噪比称为最小有效信噪比,定义为 CGM 技术提高 ARQ-CGM 系统性能所需的最小有效信噪比。当 ARQ-CGM 系统的有效信噪比小于最小有效信噪比时,CGM 技术未能明显提高 ARQ-CGM 系统的可靠性,且增加了 ARQ-CGM 系统的重传次数。此时应提高系统的传统信噪比,以降低系统的重传能耗,从而提高有效信噪比。

表 1 列出了多种信道增益阈值下 ARQ-CGM 系统的最小有效信噪比,由此可知,随着信道增益阈值的增加,ARQ-CGM 系统的最小有效信噪比也逐渐增加。

表1 不同信道增益阈值下的最小有效信噪比

Table 1 Minimum effective SNR under different channel gain monitoring thresholds

信道增益阈值	最小有效信噪比/dB
0.3	7.30
0.5	7.35
0.6	7.48
0.7	7.57

3 车联网中的 HARQ-CGM 系统

3.1 车联网中的 HARQ-CGM 系统

图 6 所示为基于 LTE-V 车联网 HARQ-CGM 系统的接收端结构。其中,信息序列为经过频率选择性 MIMO 信道后的接收码字, \hat{h}_{\min} 为第 n_R 根接收天线与第 n_T 根发射天线之间的信道频域响应估计矩阵 $\hat{\mathbf{H}}_{n_R, n_T}(l, k)$ 中的最小元素,接收端信号处理过程包含资源元素解映射、发射端分集合并、软解调、去扰、码字解重组、速率解匹配、信道译码及子块合并等部分。经过频率选择性 MIMO 信道后的信息序列首先进行 OFDM 解调而后进行信道估计,OFDM 解调可将时域信号转成频域信号。若信道估计矩阵的最小元素 \hat{h}_{\min} 大于预先设定的阈值,则系统接收该码字并进行后续接收端信号处理、CRC 校验及重传;若 \hat{h}_{\min} 小于预先设定的阈值,则系统丢弃该码字并请求重传,重传持续到该码字被成功接收或重传次数达到上限为止。

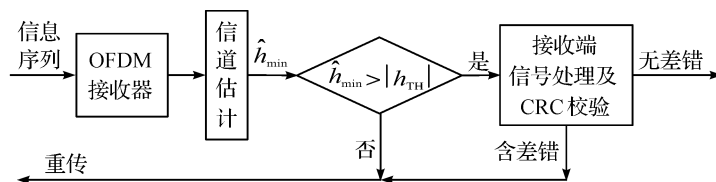


图 6 车联网中 HARQ-CGM 系统的接收端结构

Fig. 6 Receiver structure of HARQ-CGM in IOV

3.2 仿真结果

仿真采用图 1 所示的 LTE-V 下行链路传输系统,具体参数参照表 2 及 3GPP 标准^[5],仿真结果如图 7、图 8 所示。

图 7 为车联网中 HARQ-CGM 系统的误比特率性能。基于传统信噪比,当信道增益阈值在 0~0.6 时,多种信道增益阈值下的系统误比特率性能相近,然而信道增益监测技术会增加系统的平均传输次数。以有效信噪比为基准比较时,车联网 HARQ-CGM 系统

表2 LTE-V 下行链路仿真参数

Table 2 LTE-V downlink simulation parameters

参数类型	参数值
子帧长度/bit	8 260
传输模式	2 × 2 空频编码
CRC	$G_{CRC8}(D) = D^8 + D^7 + D^4 + D^3 + D + 1$
信道带宽/MHz	10
调制类型	16 阶正交振幅调制
车辆移动速度 km/h	60, 300, 600
信道	MIMO 信道
最大重传次数	3

的误比特率曲线随信道增益阈值的增加而逐渐右移。在低传统信噪比下,CGM 技术未能明显提高车联网 HARQ-CGM 系统的可靠性,且增加了系统的重传次数,此时 HARQ-CGM 系统的有效信噪比小于最小有效信噪比,需增加传统信噪比,以降低系统重传能耗,从而提高有效信噪比。

图 8 为多种车辆移动速度下车联网 HARQ-CGM 系统的误比特率性能。基于传统信噪比,CGM 技术提高了 HARQ-CGM 系统的可靠性。由于 CGM 技术会增加系统的平均传输次数,因而有效信噪比下,系统的误比特率曲线会明显右移。当信道增益阈值为 0.5 时,基于传统信噪比,随着车辆移动速度的增加,系统的可靠性逐渐降低。随着车辆移动速度的增加,信道环境逐渐变差,系统的平均传输次数也会逐渐增加,此时基于有效信噪比的误比特率曲线右移明显。由此可以说明,车辆移动速度增加会降低系统的可靠性并增加重传系统的重传能耗。

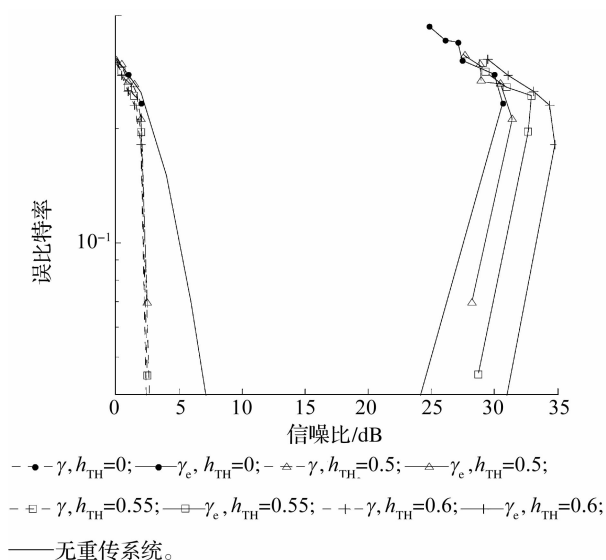


图 7 车联网中 HARQ-CGM 系统的误比特率性能

Fig. 7 BER performance of HARQ-CGM system in IOV

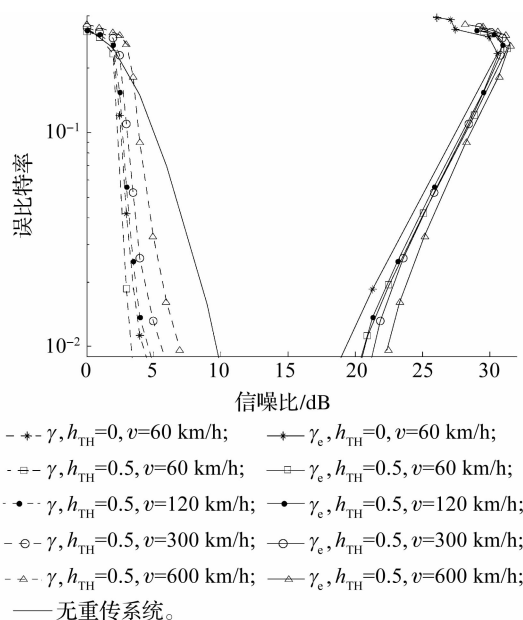


图 8 多种车辆移动速度下车联网 HARQ-CGM 系统的误比特率性能

Fig. 8 BER performance of HARQ-CGM system in IOV at various vehicle movement speeds

4 结 论

CGM 技术应用于车联网可以提高系统的可靠性,但同时增加了系统的重传次数。本文基于有效信噪比研究了 CGM 技术对车联网系统性能的影响。仿真结果表明,只有在中高传统信噪比下,CGM 技术才能提高重传协议系统的可靠性。在低传统信噪比下,CGM 技术未能明显提高系统的可靠性,且增加了系统的重传能耗,此时 ARQ-CGM 系统为达到指定误比特率所需的实际有效信噪比大于 ARQ 系统。此外,随着信道增益阈值的增加,ARQ-CGM 系统的最小有效信噪比也逐渐增加。在低传统信噪比下,车联网下行链路中的 HARQ-CGM 系统具有类似性能,且随着车辆移动速度的增加,HARQ-CGM 系统的 BER 和重传能耗逐渐增加。

参考文献:

- [1] 赵娜,袁家斌,徐晗. 智能交通系统综述[J]. 计算机科学,2014,41(11):8.
- [2] CHEN S Z, HU J L, SHI Y, et al. LTE-V: a TD-LTE based V2X solution for future vehicular network[J]. IEEE Internet of Things Journal,2016,3(6):997.
- [3] 郭志瑜,王晓鹿,童鑫,等. ITS 国际国内研究现状分析[J]. 电信网技术,2016(3):23.