

一种基于等效容量的链路性能预测方法

刘真 段然 晋云根 杨大成

(北京邮电大学 BUPT-Qualcomm 无线研究中心 北京 100876)

摘要 该文提出一种在信道复杂变化时对链路性能进行准确预测的方法。在介绍了一种基于 Shannon 信道容量的量度的基础上,引入了一个新的能够反应信道衰落速度的惩罚因子 Q 。对于不同的调制方式和编码速率,给出了 Q 与信道变化程度的关系式,以及需要参考的 AWGN 信道下的性能曲线。仿真结果表明该方法能够实时地反映出信道的变化程度,从而使得预测更加准确。该文虽以 Turbo 码性能的预测为例,但是很容易就可以推广到其他链路级的情况。

关键词 无线通信,性能预测,Turbo 码,惩罚因子,分段等效

中图分类号: TN92

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2006)10-1851-03

Link Error Prediction Based on Capacity Equivalence

Liu Zhen Duan Ran Jin Yun-gen Yang Da-cheng

(BUPT-Qualcomm Wireless Research Center, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract This paper presents a methodology to accurately predict link error performance based on capacity equivalence for a wide variety of channels. A metric based on Shannon's channel capacity is introduced and combined with a new penalty factor Q relating to channel fading rate. And a new segment equivalent method is also presented to make use of the information of each slot in the prediction. This method requires a Q look-up formula and a reference AWGN performance curve per channel code rate and modulation. Simulation results show that this method provides a good prediction performance for different fading rate channels. Here is an example of Turbo code performance prediction, it is convenient to apply to other link-level cases.

Key words Wireless communication, Performance prediction, Turbo code, Penalty factor, Segment equivalent

1 引言

目前,很多研究对无线通信系统中各种条件下的链路性能进行详细地分析,但是对链路性能的预测却很少有人提及^[1-6]。文献[7]给出了一种能够在信道变化时,对采用 HARQ 技术的 CDMA2000 反向链路性能预测的方法:等效 SNR 法 (ESM)。这种方法需要对用于预测的等效 SNR 进行惩罚,但是其中的惩罚因子只与车速有关,与信道变化的剧烈程度无直接联系。但是通过仿真,我们发现两者还是有一定的关系,所以本文将惩罚因子调整为一个与信道变化的剧烈程度相关的参数。这里以对 Turbo 码性能的预测为例来说明惩罚因子的选择。另外,本文还提出一种“分段等效”预测的思想,它能够充分地利用预测窗口中每个时隙的信息。仿真结果说明调整后的预测方法较原方法有较大的改善,同时还可以很容易地应用到其他条件下链路预测的情况。

2 基于 ESM 的 Turbo 性能预测

2.1 等效 SNR 法(ESM)

我们先简单地介绍一下文献[8]中介绍的等效 SNR 法

(Equivalent SNR Method, ESM)。

假设一帧内有 M 个时隙,首先计算每个时隙的信噪比 E_s/N_t :

$$(E_s/N_t)_1, (E_s/N_t)_2, \dots, (E_s/N_t)_M$$

那么,每个时隙的信道容量 I_m 即为

$$I_m = \log_2(1 + Q(E_s/N_t)_m) \quad (1)$$

如果对 M 个 I_m 求平均,就可以得到一个平均意义上的信道容量 C :

$$C = \frac{1}{M} \cdot \sum_{m=1}^M I_m = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \log_2(1 + Q(E_s/N_t)_m) \quad (2)$$

同时,平均信道容量 C 还可以直接表示为

$$C = \log_2(1 + Q(E_s/N_t)_F) \quad (3)$$

这样,就可以得到一个帧内范围等效的 $(E_s/N_t)_F$ 和 $(E_b/N_t)_F$:

$$\begin{aligned} (E_s/N_t)_F &= (2^C - 1)/Q \\ (E_b/N_t)_F &= N_s \cdot (E_s/N_t)_F \end{aligned} \quad (4)$$

其中 Q 是一个惩罚因子,当车速为 3 km/h 或 10 km/h 时, Q 取值为 1; 车速为 30 km/h 时, Q 为 1.2; 车速为 60 或 120 km/h 时, Q 为 1.4, 另外, N_s 为每个信息比特所对应的调制符号数。当信道快速变化时,由于信道的影

$(E_s/N_t)_F$ 会高于实际值,所以这时就需要对等效 $(E_s/N_t)_F$ 进行惩罚(如式(4)所示),并且信道变化越快,惩罚就越严重, Q 值也就越大。

最后,把等效 $(E_s/N_t)_F$ 参考AWGN信道下的性能曲线,就可以得到预测到的FER或者BER。这就是说,如果一帧内的时隙数足够多,那么每一个时隙就可以近似看作是AWGN信道的情况。

2.2 基于ESM的Turbo性能预测

我们以Turbo码的性能预测为例来说明ESM方法:当信道衰落为单径,调制为8PSK,编码速率为1/4时对Turbo码性能的预测如图1所示,其中车速分别为3km/h, 10km/h, 30km/h和60km/h。

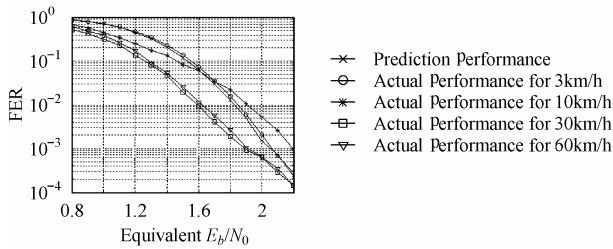


图1 基于ESM的Turbo性能预测

Fig.1 Turbo performance prediction based on ESM

上一小节提到在ESM中,车速为3km/h或10km/h时, Q 值为1;车速为30km/h时, Q 为1.2;车速为60或120km/h时, Q 为1.4。从图1的仿真结果中我们可以看到,当移动台是步行速度或车速比较慢时,预测是比较准确的,这是因为,步行速度时信道的变化比较缓慢,信道情况近似于AWGN(所以 Q 取为1);但当车速较快时(30km/h以上),信道变化变得剧烈,这时,预测就出现了较大的偏差。虽然大于1的 Q 能够惩罚预测所需的 $(E_s/N_t)_F$,但是固定的 Q 却难以反映信道的实时变化特性,所以造成了高车速时较大的预测误差。所以,这就需要调整 Q 的取值,使它能够充分地体现出信道的变化情况。关于 Q 的取值将在下一节中介绍。

3 惩罚因子Q的选取

为了提高预测的准确性, Q 值需要调整,以更加实时地惩罚由于高车速引起的信道的剧烈变化。所以,我们力求找到惩罚因子 Q 与信道变化强度之间的关系。因为很难从理论上得到两者的关系,所以,我们采用对仿真数据进行线性拟合的方法。

为了反映一帧时间里信道变化的剧烈程度,我们定义一个落差系数 F 。为了更简单、清楚地说明问题,首先假设一帧内只有两个变化的幅度,这样就可以直接计算出落差系数 F 为

$$F \stackrel{\text{def}}{=} \left| \left(\frac{E_s}{N_t} \right)_1 - \left(\frac{E_s}{N_t} \right)_2 \right| / \text{Max} \left(\left(\frac{E_s}{N_t} \right)_1, \left(\frac{E_s}{N_t} \right)_2 \right) \quad (5)$$

其中 $(E_s/N_t)_i$ 是第 i ($i=1,2$)个幅度的信噪比。图2给出了 F 值的图形表示,从中可以更清楚地理解 F 的定义。

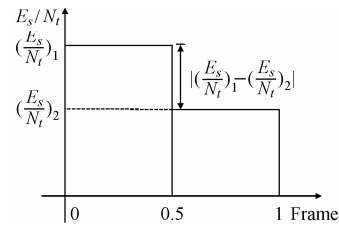


图2 F定义的图示

Fig.2 The definition of F

通过大量的仿真实验,我们发现在相同的等效 $(E_s/N_t)_F$ 条件下,通过将等效 $(E_s/N_t)_F$ 参考AWGN性能曲线所获得的FER预测与在不同的信道变化剧烈程度下实际仿真得到的FER相差很多。这也从另外一个角度上说明了固定的 Q 值所带来的预测误差。于是,我们考虑利用落差系数 F 来重新找到 Q 的取值:如果使一帧内的两个幅值变化 n 次,我们就可以得到 n 个不同的 F ,对于每一个 F ,通过仿真都可以得到一个此时信道变化情况下的误帧率,参考AWGN信道下的Turbo码性能曲线就可以得到与其相应的 E_s/N_t (或 E_b/N_t),这个 E_s/N_t 就是我们的目标预测值;同时,对于每一帧,由式(4)可以计算出其原始等效 $(E_s/N_t)_F$ 。这样,目标预测 E_s/N_t 与原始等效 $(E_s/N_t)_F$ 之间就有了一个差异,这个差异就是所求的惩罚因子 Q 。所以,对于 n 个 F ,我们得到了 n 个 Q 值。

然后,通过对 n 组仿真数据的线性拟合,可以得到一条 F 与 Q 的关系曲线,当然,这是对某一个计算出的等效 $(E_s/N_t)_F$ 来说的。同理,对于 m 个等效 $(E_s/N_t)_F$,就会有 m 条 F - Q 关系曲线。在仿真过程中,我们惊喜地发现这 m 条曲线很接近(如图3,图4所示),这在一定程度上说明了 F 与 Q 之间确实存在着一种确定的关系。所以我们可以再次通过线性数据拟合的方法,将这 m 条曲线拟合为一个固定的 F - Q 函数关系:

$$Q = 0.42 \cdot F^3 - 0.3047 \cdot F^2 + 0.113 \cdot F + 0.9999 \quad (6)$$

这里需要注意的是, F 与 Q 之间的关系是与调制方式和编码速率有关的,也就是说,不同的调制编码方案对应着不同的 F - Q 曲线。这里我们只给出8PSK调制,1/4编码速率(如图3所示)和QPSK调制,1/2编码速率(如图4所示)方案下的 F - Q 曲线,其他的调制编码方案下的结果可类似地由仿真数据得到。

从衰落系数 F 的定义可以看出, F 值越大就意味着信道变化越剧烈。在图3和图4中,由于 F 与 Q 是单调上升的关系,所以 F 越大 Q 就越大,从而对等效 $(E_s/N_t)_F$ 所做的惩罚也就越大。这样,惩罚因子 Q 就能够较为完善的反应出信道变化的情况,使得预测更加准确。

4 基于分段等效方法的Turbo码性能预测

受 F 定义的启发,我们考虑采用一种“分段等效”的方法来对Turbo码进行性能预测。在实际系统中,假设接收信号每一帧数据里有16个时隙,那么

(1)首先计算出每个时隙的原始信噪比 E_s/N_t ;

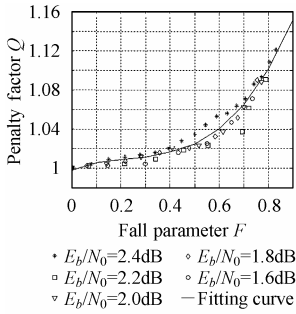


图 3 8PSK, 1/4 编码速率时的 F - Q 曲线

Fig.3 Relationship of F and Q for 8PSK and the code rate of 1/4

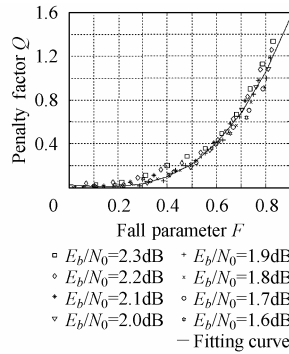


图 4 QPSK, 1/2 编码速率时的 F - Q 曲线

Fig.4 Relationship of F and Q for QPSK and the code rate of 1/2

(2)把 16 个时隙分成 8 组：每两个相邻的时隙为一组；

(3)对于每一组时隙，由第 1 步计算出来的原始 E_s/N_t 计算其落差系数 F ，根据选择的调制编码方案，对照图 3 或图 4，可以查到与刚刚计算出的 F 相对应的惩罚因子： Q_{new} 。利用第 2 节介绍的ESM方法，得到每一组时隙的新的等效SNR— $(E_s/N_t)_E$ ：

$$(E_s/N_t)_E = (2^c - 1)/Q_{new} \quad (7)$$

这里需要注意的是，式(7)中 Q_{new} 为根据 F 查表得到的值，而不是ESM方法中的固定值，这与式(4)有所不同。

(4)对这 8 个等效 $(E_s/N_t)_E$ 再进行分段等效计算，就会得到 4 个等效 $(E_s/N_t)_E$ ，以此类推，最后可以计算出一个最终的等效SNR— $(E_s/N_t)_F$ 。

(5)最后，将新的等效 $(E_s/N_t)_F$ 参照AWGN信道下的性能曲线，就得到了新预测的FER(或BER)。

具体的分段等效计算过程如图 5 所示。

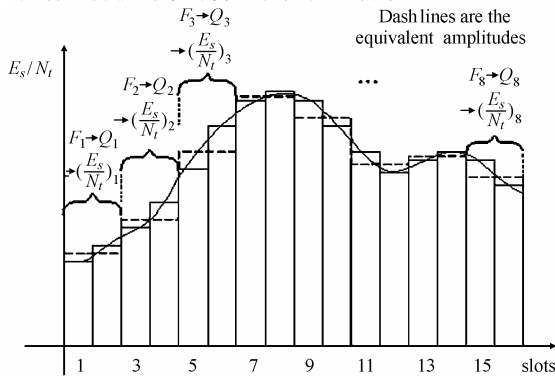


图 5 分段等效方法图示

Fig.5 Segment equivalent method

经过 Q 值和分段等效方法改进的 Turbo 码性能预测的结果如图 6 和图 7 所示。这里，依然考虑单径的衰落信道，8PSK 调制和 1/4 的编码速率，车速分别是 30km/h 和 120km/h。

从以上的方法分析和仿真结果中我们可以看出，在低信噪比时，改进算法与实际性能曲线十分接近，虽然随着信噪比的增加，增益减少了一些，但是从整体的趋势来说， Q 调整和“分段等效”的改进方法都比原预测方法准确了许多。尤其是在信噪比为 2dB 时，增益达到了最大值。所以，仿真

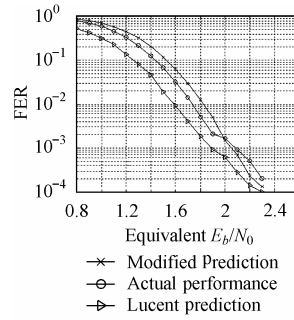


图 6 30km/h 时改进的 Turbo 码性能预测
Fig.6 Modified prediction for 30km/h

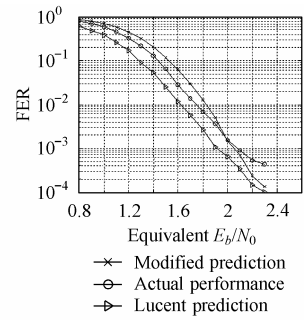


图 7 120km/h 时改进的 Turbo 码性能预测
Fig.7 Modified prediction for 120km/h

结果证明了考虑信道实时变化程度对预测性能的影响是必要的，也是有价值的，尤其是对于快变的单载波系统以及多载波系统(如 OFDM)。

5 结束语

本文提出了一种改进的链路性能预测方法，以 Turbo 码性能预测为例说明了方法的有效性和可行性，同时它还可以很容易地推广到其他链路性能预测的情况。在实际系统中，基于对链路性能的预测，我们可以对某些重要的参数做出调整，以提高系统性能，比如数据速率，功控步长和目标值以及自适应调制编码中的调制编码方案的选择等。

参考文献

- [1] Berrou C, Glavieux A. Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: Turbo codes. *IEEE Trans. on Communications*, 1996, 44(10): 1261 – 1271.
- [2] Gu J, Yang D. Study of variability effect on decoding. *Vehicular Technology Conference*, Atlanta, GA, 2001, vol.3:1482 – 1486.
- [3] Perez L C, Seghers J, Costello D J, et al.. A distance spectrum interpretation of turbo codes. *IEEE Trans. on Information theory*, 1996, 42(6): 1698 – 1709.
- [4] Benedetto S, Montorsi G. Unveiling turbo codes: Some results on parallel concatenated coding schemes. *IEEE Trans. on Information Theory*, 1996, 42(2): 409 – 428.
- [5] Hall E K, Wilson S G. Design and analysis of turbo codes on Rayleigh fading channels. *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, 1998, 16(2): 160 – 174.
- [6] 欧阳辉. Turbo 码在无线通信中的研究[硕士论文], 北京:北京邮电大学, 2004.
- [7] Lucent.C30-20030401-020_LUC_Link_Error_Prediction_for_H ARQ. 3GPP2, 2003.
- [8] Lucent.C30-20030217-xxx_LUC_Link_Error_Prediction-Analysis. 3GPP2, 2003.

刘 真： 女，1979 年生，博士生，研究方向为移动通信中的关键技术、编解码技术等。

杨大成： 男，1951 年生，博士生导师，北京邮电大学 BUPT-Qualcomm 联合研究中心中方首席专家，中国联通公司总部高级技术顾问.主要研究兴趣为移动通信系统中的理论和实现。