

基于 Walnut Street 修正模型的短波信道仿真算法

曹 鹏 景 渊 黄国策

(空军工程大学电讯工程学院 西安 710077)

摘 要 传统短波信道 Watterson 模型只能模拟信道短期变化规律。为模拟短波信道在各种长度时间段内的变化,针对短波信道接收端信噪比统计特性,提出了一种基于信噪比重放的短波信道仿真算法。该算法以 Walnut Street 信道模型为基础,通过对实际观测数据进行分析处理,建立接收端信噪比变化的中期和长期变化统计模型,联合 Watterson 模型实现信道模拟。仿真结果表明,该算法可反映实际信噪比变化规律,为短波网络仿真提供精确的信道质量模拟。

关键词 短波,网络仿真,信噪比,Walnut Street,Watterson

中图分类号 TP301.6, TN011.2 **文献标识码** A

HF Channel Simulation Algorithm Based on Improved Walnut Street Model

CAO Peng JING Yuan HUANG Guo-ce

(The Telecommunication Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract Traditional HF channel model-Watterson Model could simulate channel variations during short terms. In order to simulate channel variations during various terms, a HF channel simulation algorithm based on SNR reproduction was presented according to the statistical characteristics of HF channel. With Walnut Street model as its foundation, observed data were analyzed and processed, the SNR variation models during intermediate and long terms were built, combined with traditional Watterson channel model, the specified HF channel was simulated through SNR prediction. Simulation results show that this algorithm could simulate SNR variations in real channel, which provides good simulation of channel quality for HF network simulation.

Keywords HF, Network simulation, SNR, Walnut street, Watterson

网络仿真是研究短波网络的主要手段。近年来,在短波通信网络仿真研究中开始大量使用离散事件仿真技术。短波信道建模是网络仿真的基础和重要组成部分,传统信道建模只能反映信道质量短期的变化特点,而网络仿真要求信道模型能精确模拟信道质量在较长时间段内的变化特点。为此,需要建立一种能反映各种长度时间段内信噪比变化规律的信道模型。

众所周知,信噪比在一天之内甚至更长时间段内的变化可通过 ICEPAC 或 VOACAP 等电离层传播预测软件获得,在 1s 之内的变化可通过 Watterson 等模型模拟,而对于信噪比在几秒到几分钟时间段内的变化规律的研究相当有限。Goodman 在其研究中认为信噪比在短期内的统计特性服从 Rayleigh 分布,而中期或长期变化服从对数正态分布^[1]。Furman 和 McRae 对实际观测数据进行分析后得出如下结论:信噪比变化服从对数正态分布,其标准差为 4dB 左右,而自相关函数时间常数约为 10s^[2]。

在 3G 短波通信标准 MIL-STD-188-141B Appendix C^[3] 中,Johnson 等人提出短波网络仿真信道模型必须具备的 5

个特性,并提出在 3G 短波网络仿真中采用基于信噪比重放的短波信道建模思想^[4]。Johnson 将 Goodman 和 Furman 等人的研究成果纳入到自己的模型当中,提出接收端信噪比变化主要有 3 种规律,即短期变化、中期变化和长期变化。长期变化可使用 ICEPAC^[5] 软件预测计算;中期变化服从对数正态分布,其分布参数通过实验观察获得;短期变化规律采用 ITU-R Rec. F. 1487^[6] 和 CCIR Recommendation 520-1 中^[7] 推荐的 Watterson 模型进行模拟。1999 年前后,Johnson 对其提出的 SNR 计算方法进行了总结,在经过 JITC (Joint Interoperability Test Command) 验证后该算法得到了 HFIA (High Frequency Industry Association) 的认可,被命名为 Walnut Street 模型,并在随后的仿真研究中得到了广泛应用^[8-13]。2007 年, Harris 公司的 William Batts, William Furman 和 Eric Koski 等人对 Walnut Street 模型做了进一步修正和完善^[14,15],提出 LTV (Long-Term Variation) 模型和 ITV (Intermediate-Term Variation) 模型,并经过实验进行了验证。目前 Harris 公司正考虑将 Walnut Street 模型标准化,并以 ITU 标准的方式进一步推广^[16]。

到稿日期:2009-04-09 返修日期:2009-06-25 本文受陕西省自然科学基金项目(2007F03),国防科技重点实验室基金项目(51473020 105JB3203)资助。

曹 鹏(1982-),男,博士生,主要研究方向为无线通信网络、短波 IP 网络,E-mail:blowingfire@163.com;景 渊(1985-),男,硕士生,主要研究方向为无线网络;黄国策(1962-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为无线通信网络。

本文首先对修正 Walnut Street 模型进行简要介绍;第 2 节根据观测数据给出推导 LTV 和 ITV 模型参数的算法及在 Watterson 模型中体现信噪比变化规律的方法;第 3 节给出仿真数据与观测数据的比较结果;最后是结论。

1 Walnut Street 信道模型

基于接收端信道比重放的 Walnut Street 模型,其短波信道信噪比变化包含 3 种规律:

(1)快速 Rayleigh 衰落导致的信噪比变化,可用 Watterson 模型来模拟;

(2)中期变化 (ITV),通常在几秒钟到一分钟的时间段内,服从对数正态分布;

(3)长期变化 (LTV),通常在几分钟到十几分钟左右的时间段内,服从对数正态分布。

采用 Walnut Street 模型对短波信道进行仿真,则需要对信道进行观测,获得一段时间内实际信噪比的记录数据。通过对获得的信噪比数据进行处理,得到 ITV 和 LTV 过程的标准差和相关函数的时间常数,这些参数用来计算模型参数,模型产生和观测数据基本吻合信噪比变化规律。模型仿真流程图如图 1 所示。

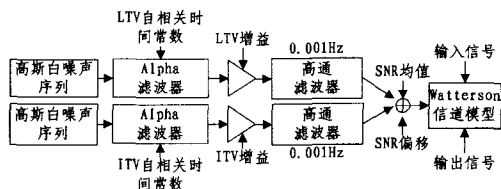


图 1 Walnut Street 模型框图

Watterson 模型的平均信噪比参数通常是一个参数,但这里输入是一个瞬时信噪比,该瞬时信噪比是以下 4 个部分之和:

(1)SNR 均值:输入的瞬时信噪比序列的长期均值。

(2)SNR 偏移:根据当前时间,采用 ICEPAC 或 VOAC AP 计算出的 1h 之间的信噪比偏移量。这是一个可选项,在模拟 1h 内的信噪比变化时可忽略。

(3)ITV 和 LTV 过程:服从对数正态分布的随机序列,体现信噪比中期和长期变化规律。

2 信道仿真算法

2.1 LTV 模型和 ITV 模型

LTV 和 ITV 过程是实现 Walnut Street 模型的关键,它们均服从对数正态分布,且自相关函数为指数型。LTV 和 ITV 序列主要是将高斯白噪声序列通过一个所谓的 Alpha 滤波器来产生的,输出将是一个自相关函数为指数型的噪声序列,自相关函数的时间常数将由 Alpha 值和系统采样率共同决定。换言之,在输出噪声序列自相关函数的时间常数已知和采样率确定的前提下,可根据该时间常数和采样率计算出对应的 Alpha 值,使得 Alpha 滤波器输出符合相关性要求的噪声序列。对于 LTV 过程,其自相关函数的时间常数较大,而 ITV 过程的时间常数较小。LTV 增益和 ITV 增益由期望输出的标准差决定。下面以表 1 中的 LTV 和 ITV 过程为例,

给出模型参数求解方法。

表 1 LTV 和 ITV 过程期望输出参数

LTV 时间常数	160s	ITV 时间常数	6.5s
LTV 标准差	3.493dB	ITV 标准差	3.889dB

设系统采样率为 F_s , Alpha 滤波器系统差分方程如下:

$$out[n] = \alpha * out[n-1] + (1-\alpha) * in[n] \quad (0 < \alpha < 1) \quad (1)$$

则滤波器的传输函数和冲激响应序列为

$$H(Z) = (1-\alpha) * \frac{Z}{Z-\alpha} \quad h(n) = (1-\alpha) * \alpha^n \quad (n > 0) \quad (2)$$

滤波器的输入为高斯白噪声序列,其自相关应为 0 时刻的一个冲激函数,则滤波器的输出自相关为

$$\phi_{yy}(m) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} \phi_{xx}(m-l) \sum_{k=-\infty}^{\infty} h^*(k)h(l+k) \quad (3)$$

由 $\phi_{xx}(m) = \delta(0)$ 可得

$$\phi_{yy}(m) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(k)h(m+k) = \frac{1-\alpha}{1+\alpha} \alpha^m \quad (4)$$

以 LTV 时间常数 160s 为例, α 应满足:

$$\phi_{yy}\left(\frac{m}{F_s}\right) = 0, m/F_s = 160 \quad (5)$$

上式可用 Matlab 求解。注意在求解时由于理论上 $\phi_{yy}(m) > 0$, 因此等式右边必须取足够小的接近零的数值,这里取 10^{-6} 。求解结果为: LTV 对应 $\alpha = 0.9704$, ITV 对应 $\alpha = 0.3665$ 。

Alpha 滤波器的输出分别与 LTV 和 ITV 增益相乘,即可获得所要求的 LTV 和 ITV 序列。

2.2 信噪比仿真算法

通常 Watterson 模型的信噪比参数是一个常数,表示仿真时输入信号和噪声的平均功率之比。但 Walnut Street 模型中的输入信噪比是一个 SNR 序列,序列里的每个元素均表示某一时刻的瞬时信噪比。为将输入 SNR 序列中的信噪比变化特性加入到 Watterson 模型当中,必须在每个采样点根据 SNR 序列中的信噪比对信号或噪声进行增益。令 N_i 和 S_i 分别表示信号和噪声的样本点, SNR_i 表示对应信噪比序列中的瞬时信噪比, a_i 为信号的瞬时增益,则

$$SNR_i = 20 \lg(a_i * S_i / N_i) \quad (6)$$

由此可求出对应的信号或噪声瞬时增益。

3 仿真结果

为验证本文提出的仿真算法,对仿真输出数据和实际观测数据进行了比较。于 2006 年 11 月上旬对相距约 200km 两地间的通信链路进行了 3 天观测,记录下信噪比变化情况。计算 3 天各小时内自相关时间常数和标准差均值,代入到模型算法当中,模拟输出从凌晨 0 点至中午 12 点各小时信噪比序列,并将其均值和方差与平均观测信噪比序列进行比较,结果如表 2 和表 3 所列。

表 2 仿真输出和观测数据均值比较

时间: h	1	2	3	4	5	6
观测均值: dB	18.78	18.92	15.12	13.56	9.25	11.72
输出均值: dB	18.73	18.95	15.16	13.57	9.23	11.69
时间: h	7	8	9	10	11	12
观测均值: dB	15.23	18.29	19.12	20.15	17.87	14.28
输出均值: dB	15.29	18.21	19.12	20.11	17.88	14.27

表 3 仿真输出和观测数据方差比较

时间: h	1	2	3	4	5	6
-------	---	---	---	---	---	---

观测方差: dB2	7.24	7.39	7.96	7.09	7.77	7.79
输出方差: dB2	7.25	7.36	7.99	7.08	7.75	7.77
时间: h	7	8	9	10	11	12
观测方差: dB2	7.42	7.22	7.13	6.91	7.19	7.37
输出方差: dB2	7.39	7.23	7.11	6.92	7.18	7.37

从比较结果来看,仿真输出与观测结果的数字特征基本吻合,误差保持在0.5%之内。

将频率为100Hz的单音信号分别输入到Walnut Street模型和Watterson模型当中,Watterson模型取ITU-R Rec. F. 1487中纬度模型disturbed的情况,平均信噪比取10dB,输出信号功率谱密度如图2和图3所示。

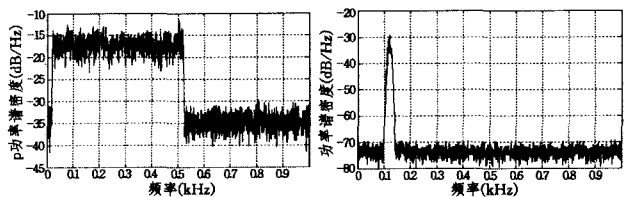


图2 Walnut Street模型输出信号功率谱密度 图3 Watterson模型输出信号功率谱密度

由图可见,与Watterson模型输出功率谱相比,Walnut Street模型输出功率谱出现了更明显的频谱展宽现象,导致能量分散,这也如实反映了长时段内由于各种衰落而造成的信道质量变化情况。

结束语 本文介绍了国外最新基于信噪比重放的Walnut Street短波信道模型,经过理论上的推导,给出了模型关键参数的解算方法以及将信噪比变化规律与Watterson模型结合的仿真流程。仿真结果验证了算法的正确性和可行性,同时表明算法具有简单、执行高效的特点。在OPNET等离散事件仿真工具中采用该仿真算法,可大大提高短波网络仿真的效率和精确度,从而为短波网络仿真奠定一个良好的基础。

参考文献

[1] Goodman J M. HF Communications, Science and Technology [M]. New York, NY: Van Nostrand Reinhold, 1992
 [2] Furman W, McRae D. Evaluation and Optimization of Data Link Protocols for HF Data Communications Systems [C] // IEEE

MILCOM'93. Boston, MA, 1993

[3] Department of Defense Interface Standard. Interoperability and Performance Standards for Medium and High Frequency Radio Systems[S]. MIL-STD-188-141B. 2001
 [4] Johnson E E, Kenney L, Chamberlain M, et al. US MIL-STD-188-141B Appendix C-A Unified 3rd Generation HF Message Protocol[C]//Nordic Shortwave Conference 98. 1998
 [5] Teters L R, et al. NTIA Report 83-127: Estimating the Performance of Telecommunication Systems Using the Ionospheric Transmission Channel-Ionospheric Communications Analysis and Prediction Program Users Manual[S]. 1983
 [6] ITU-R Recommendation F. 1487. Test of HF Modems With Bandwidths of Up to About 12k Hz Using Ionospheric Channel Simulators[S]. 2000
 [7] CCIR Recommendation 520-1. Use of High Frequency Ionospheric Chanel Simulators[S]. 1982
 [8] Johnson E E. Simulation Results for Third-generation HF Automatic Link Establishment[C]//IEEE MILCOM'99. 1999
 [9] NMSU Technical Reports. E-Mail Standards for HF Radio[S]. 2001
 [10] Johnson E E. Interoperability and Performance Issues in HF E-Mail[C]//IEEE MILCOM'01. 2001
 [11] Johnson E E. Interactions Among Oonospheric Propagation, HF Modem, and Protocols[C]//IEEE MILCOM'02. Anaheim, CA, 2002
 [12] Johnson E E. The Walnut Street Model of Ionospheric HF Radio Propagation[S]. NMSU Technical Report. 2002
 [13] Johnson E E. ARQ Protocol Features for HF Radio Links[C]//IEEE MILCOM'02. Anaheim, CA, 2002
 [14] Batts W M, Furman W N, Koski E N. Empirically Characterizing Channel Quality Variation on HF Ionospheric Channels[C]//Nordic Shortwave Conference 2007. Faro, Sweden, August 2007; 14-16
 [15] Batts W M, Furman W N. Channel Quality Variation as a Design Consideration for Wireless Data Link Protocols [C] // IEEE MILCOM 2007. Orlando, Florida, USA, October 2007; 29-31
 [16] Arcoraci D. Channel Quality Variation and Its Impact on Data Link Protocol Performance[S]. Harris Corporation, RF Communication Division. July 2007

(上接第69页)

[2] Caire G, Shamai S. On the achievable throughput of a multiantenna Gaussian broadcast channel [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2003, 49(7): 1691-1706
 [3] Yu W, Cioffi J M. Sum capacity of Gaussian vector broadcast channels [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2004, 50(9): 1875-1892
 [4] Vishwanath S, Jindal N, Goldsmith A. Duality, achievable rates, and sum-rate capacity of Gaussian MIMO broadcast channels [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2003, 49(10): 2658-2668
 [5] Weingarten H, Steinberg Y, Shamai S. The capacity region of the Gaussian MIMO broadcast channel[C]//IEEE International Symposium on Information Theory. 2004; 174
 [6] Viswanath P, Tse D N C, Laroia R. Opportunistic beamforming using dumb antennas [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2002, 48(6): 1277-1294
 [7] Jalali A, Padovani R, Pankaj R. Data throughput of CDMA-HDR

a high efficiency-high data rate personal communication wireless system. 2000; 1854-1858

[8] Hoon K, Keunyoung K, Youngnam H, et al. An efficient scheduling algorithm for QoS in wireless packet data transmission [C]//13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. 2002; 2244-2248
 [9] Aniba G, Aissa S. Adaptive proportional fairness for packet scheduling in HSDPA[C]//IEEE Global Telecommunications Conference. 2004; 4033-4037
 [10] Daiqin Y, Dongxu S, Wenjian S, et al. Towards Opportunistic Fair Scheduling in Wireless Networks[C]//IEEE International Conference on Communications. 2006; 5217-5221
 [11] Sang A, Xiaodong W, Madihian M, et al. A flexible downlink scheduling scheme in cellular packet data systems [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2006, 5(3): 568-577
 [12] Xu N, Guillaume V, Zhou W, et al. A Dynamic PF Scheduler to Improve the Cell Edge Performance[C]//IEEE 68th Vehicular Technology Conference. 2008; 1-5