

四 院

○四一系



目 录

序号	姓名	职称	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期	类别
1	徐大专 许宗泽	正高 正高	041 041	用重要性抽样方法估计分组码同时纠错和检错时的性能	航空学报	012206	H
2	张 弓	副高	041	Algorithm for ambiguity resolution in range and velocity	南京航空航天大学学报(英文版)	011802	J
3	苗 澎 张 弓	硕士 副高	041 041	基于 SHARC 处理器的数字脉冲压缩实现	雷达与对抗	010003	
4	颜 彪 许宗泽	博士 正高	041 041	VDSL 数字用户环路的调制方法分析	通信技术	010008	J
5	颜 彪 许宗泽	博士 正高	041 041	软件无线电基站接收单元的实现	江苏通信技术	011705	
6	颜 彪 周 平 许宗泽	博士 博士 正高	041 041 041	软件无线电的关键技术	电力系统通信	012206	
7	周 平 颜 彪	博士 博士	041 041	对称平板介质波导不连续性散射特性的边界元分析	南京师大学报(工程技术版)	010102	J
8	周 平 徐金平	博士 正高	041 041	矩形波导结中多介质柱散射特性边界元法分析	电波科学学报	011603	J
9	周 平	博士	041	应用 B 样条有限元法计算横电磁波传输室中高次模的截止频率	四川师范大学学报	012404	J
10	宋茂忠 许宗泽	副高 正高	041 041	一种新型同时测向测距四相时空调制扩频系统	电子科技大学学报	013005	H
11	宋茂忠	副高	041	一种新颖的四天线时空调制通信定位综合化系统	高技术通讯	011101	J
12	宋茂忠	副高	041	提高 GPS 定位精度的数据处理技术	数据采集与处理	011602	H
13	宋茂忠	副高	041	多径和噪声作用下延迟锁定环的测距误差分析	数据采集与处理	011601	H
14	宋茂忠	副高	041	甚高频全向信标改造成数字通信测向综合化系统的几种新方案	航空电子技术	013203	H
15	孙文宾 黄云新 刘 鹏	正高 硕士 硕士	041 041 041	一种设计宽带高效 E 类功率放大器的方法-“参数补偿压缩法”	电子学报	012911	H
16	张景涛 朱兆达	硕士 正高	041 041	非线性 Chirp scaling SAR 成像算法研究	第十六届研究生通信年会	2001	
17	吕 波 朱兆达	硕士 正高	041 041	基于 SAR 的外场实测数据 R-D 算法成像研究	江苏省研究生通信年会	2001	
18	武昕伟 朱兆达	博士 正高	041 041	机载 PD 雷达海杂波的计算机模拟	第十六届南京地区研究生通信年会	2001	
19	苗 澎 张 弓	硕士 副高	041 041	一种舰载三坐标雷达电子对抗仿真	第十六届南京地区研究生通信年会	2001	
20	梅 波 朱兆达	硕士 正高	041 041	基于实测数据的波数域成像算法研究	第十六届研究生通信	2001	

序号	姓名	职称	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期	类别
21	郭春生 沙南生 朱兆达	博士 博士 正高	041 外校 041	可扩展机载 SAR 信号处理机的研究	南京航空航天大学学报	013306	J
22	郭春生 朱兆达	博士 正高	041 041	InSAR 数字高度模型的校准和重采样	第十六届南京地区研究生通信年会	2001	
23	叶少华 沙南生 朱兆达	博士 正高	041 外校 041	BAQ 算法在 SAR 原始数据压缩中的应用研究	数据采集与处理	011602	H
24	刘启明 王成华 华 昊	硕士 正高 硕士	041 041 041	采用 TMS320C6201 实现数字式脉冲压缩雷达实时信号处理	航空电子技术	013203	H
25	李 明 王成华	硕士 正高	041 041	火灾报警及消防系统的研制	电子工程师	012701	
26	王成华 吕 勇	正高	041 041	8031 芯片的 VHDL 描述与仿真	航空电子技术	013201	H
27	王成华 沈嗣昌	正高 正高	041 041	改革电子类专业技术基础课,提高学生的综合素质与创新能力	电气电子教学学报	012301	
28	吴 宁 易湘嵘	正高	041 041	变电站安全操作监控系统	数据采集与处理	011603	H
29	黎 宁 毛四新	中级	041 041	Effective feature analysis for color image segmentation	Transactions of NUAA(南航学报英文版)	011802	J
30	黎 宁	中级	041	Feature Incoding for color image segmentation	Procedings of SPIE	2001	
31	黎 宁 徐晓波 牛 征	中级 本科 本科	041 041 041	MATLAB 平台下图像处理实验教学软件的实现	电气电子教学学报	012305	
32	周建江	正高	041	在教学中把能力培养落到实处	南京航空航天大学学报(社科版)	000209	
33	周建江 舒永泽	正高 正高	041 041	体目标射频回波信号实时仿真方法研究	电子科技大学学报	013001	H
34	周建江 舒永泽 昂海松	正高 正高 正高	041 041 041	像素法射频信号产生及实时仿真研究	数据采集与处理	011601	H
35	李海林	硕士	041	用射线追踪法计算目标雷达截面	第十六届南京地区研究生通信年会	2001	
36	葛志雄	硕士	041	基于 TMS320C5402 的电力线载波机调制解调模块的设计与实现	第十六届南京地区研究生通信年会	2001	
37	董 岩	硕士	041	基于 TMS320C5402 的通信机数字化方案设计	第十六届南京地区研究生通信年会	2001	
38	包 骅	硕士	041	基于 Hilbert 变换的数字鉴相及其 DSP 实现	第十六届南京地区研究生通信年会	2001	
39	仰枫帆	副高	041	The design critier of novel phase spread sequences for mobile DS/SSMA communications	ISSTA-2000	2000	
40	仰枫帆	副高	041	A new adaptive strategy for turbo decoder with prior statistical knowledge of extrinsic information over AWGN and fading channels	IEEE VTS 53 rd Vehicular Technology Conference	2001	

序号	姓名	职称	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期	类别
41	仰枫帆	副高	041	相位扩谱序列的设计准则及该直扩多址系统的性能研究	电子学报	012901	H
42	王宏	中级	041	用改进的 SIFT 方法检测语音基频	现代电子技术	010002	
43	王宏	中级	041	基于 TMS320C50 的通用语音信号处理系统	电子技术应用	012703	J
44	王宏	中级	041	Matlab 的 WEB 应用和开发	计算机应用	012103	J
45	顾长青	正高	041	物理光学迭代法的子域连接法	电子学报	012903	H
	舒永泽	正高	041				
	徐金平	正高	041				
46	顾长青	正高	041	一种改进的物理光学迭代法	电子与信息学报	012310	
	舒永泽	正高	041				

文章编号:1000-6893(2001)06-0567-03

用重要性抽样方法估计分组码同时纠错和检错时的性能

徐大专, 许宗泽

(南京航空航天大学 信息科学与技术学院, 江苏 南京 210016)

ESTIMATING PERFORMANCE OF BLOCK CODES FOR BOTH ERROR DETECTION AND CORRECTION USING IMPORTANCE SAMPLING

XU Da-zhuan, XU Zhong-ze

(Institute of Information Science and Technology,

Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

摘要: 研究用重要性抽样仿真方法估计线性分组码同时纠错和检错时的不可检错误概率。从理论上得到了最佳偏置转移概率和仿真效率的表达式。对(15,7)BCH码和(23,12)Golay码的仿真表明,重要性抽样是一种非常有效的仿真方法。

关键词: 分组码; 不可检错误概率; 重要性抽样; 计算机仿真

中图分类号: TN911.2 文献标识码: A

Abstract: The undetected error probability of linear block codes for both error detection and correction is estimated with importance sampling. Formulas for optimum bias transition probability and simulation efficiency are obtained theoretically. Simulation results for the (15,7) BCH code and the (23,12) Golay code show that the importance sampling is a very efficient method.

Key words: block code; undetected-error probability; importance sampling; computer simulation

重要性抽样(IS)方法是一种非常有效的仿真方法^[1~3],文献[1]用IS方法成功地估计通信系统的误码率。文献[4]用IS方法估计Viterbi译码器的误码率,也获得了满意的结果。文献[5]用IS方法估计纯检错系统的性能,本文将该结果推广到同时纠错和检错的情况,从理论上得到了最佳偏置转移概率和仿真效率的表达式。对(15,7)BCH码和(23,12)Golay码的仿真结果表明,IS方法的效率很高,仿真值与理论值非常吻合。

1 仿真模型

设 (n, k) 线性分组码的最小距离为 d ,译码器对汉明重量小于等于 t 的错误图样进行纠正,对汉明重量大于 t 的错误图样进行检测,这里 $0 \leq t \leq [(d-1)/2]$, $[x]$ 表示小于等于 x 的最大整数。显然,纯检错是 $t=0$ 的特殊情况,纯纠错是 $t=[(d-1)/2]$ 的特殊情况。

系统仿真模型如图1所示: C 表示发送码字; E 表示错误图样; $X=C+E$ 表示接收接收向量,其分量等于 C 和 E 对应分量的模2和,它们都是 n 维线性空间 V^n 中的向量。 $y=g(X)$ 表示同时纠

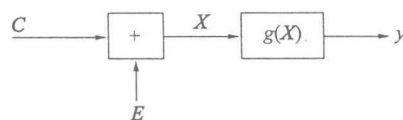


图1 同时纠错系统仿真模型

Fig. 1 Simulation model of correction/detection system

检译码器的系统函数。令 $w(X, C)$ 表示接收向量与码字之间的汉明距离。所有满足 $w(X, C) \leq t$ 的向量 X 的集合 $S(C) = \{X \in V^n | w(X, C) \leq t\}$ 称为以 C 为中心,半径为 t 的汉明球。那么有如下3种情况:

- (1) 当 $X \in S(C)$ 时,译码器能够正确译码,用 $Y=0$ 表示。
- (2) 当 X 不属于任何码字的汉明球时,译码器能够检测出错误,用 $Y=1$ 表示。
- (3) 当 X 属于另一个码字的汉明球时,出现了一个不可检测的错误,用 $Y=2$ 表示。显然,不可检错误的概率

$$p_{ud} = P\{Y = 2\} = P\{g(X) = 2\}$$

令 $\Omega = \{X \in V^n | g(X) = 2\}$ 表示全部不可检错误图样的集合,设 X 的概率分布函数为 $f_X(x)$,那么

$$p_{ud} = \sum_{x \in \Omega} f_X(x) \quad (1)$$

引入开关函数

$$H[g(x)] = \begin{cases} 0, & x \notin \Omega \\ 1, & x \in \Omega \end{cases} \quad (2)$$

那么

$$p_{ud} = \sum_{x \in V^n} H[g(x)] f_X(x) \quad (3)$$

上式表明 p_{ud} 可以看成 $H[g(X)]$ 的数学期望。下面用 MC 方法估计 p_{ud} ，由式(3)得

$$\hat{p}_{ud} = \frac{1}{N_{MC}} \sum_{i=1}^{N_{MC}} H[g(x_i)] \quad (4)$$

其中： \hat{p}_{ud} 是对 p_{ud} 的估计值； x_i 是随机向量 x 的样本； N_{MC} 是样本总数。MC 方法产生的方差为^[2]

$$\sigma_{MC}^2 = \frac{1}{N_{MC}} \sum_{i=1}^{N_{MC}} H[g(x_i)] (1 - p_{ud}) f_X(x_i) \quad (5)$$

通常 $p_{ud} \ll 1$ ，因此

$$\sigma_{MC}^2 = \frac{1}{N_{MC}} \sum_{i=1}^{N_{MC}} H[g(x_i)] f_X(x_i) \quad (6)$$

为了应用重要性抽样方法，引入 X 的一个新的概率分布函数 $f_X^*(x)$ ，称为偏置概率分布。把 p_{ud} 重写为

$$p_{ud} = \sum_{x \in V^n} H[g(x)] w_X(x) f_X^*(x) \quad (7)$$

其中：

$$w_X(x) = f_X(x) / f_X^*(x) \quad (8)$$

称 X 为关于样本 x 的权函数。用 IS 方法对 p_{ud} 重新进行估计

$$p_{ud} = \frac{1}{N_{IS}} \sum_{i=1}^{N_{IS}} H[g(x_i)] w_X(x_i) \quad (9)$$

式中： x_i 是用偏置概率分布 $f_X^*(x)$ 产生的样本； N_{IS} 是用 IS 方法仿真的样本总数。IS 方法的方差为^[2]

$$\sigma_{MC}^2 = \frac{1}{N_{IS}} \sum_{i=1}^{N_{IS}} H[g(x_i)] \cdot (w_X(x_i) - p_{ud}) f_X(x) \quad (10)$$

通常 $w_X(x) \gg p_{ud}$ ，所以

$$\sigma_{MC}^2 = \frac{1}{N_{IS}} \sum_{i=1}^{N_{IS}} H[g(x_i)] w_X(x_i) f_X(x) \quad (11)$$

比较式(6)和式(11)可以看出，在样本总数一定时，只要保证当 $x \in \Omega$ 时， $w_X(x) < 1$ 就有 $\sigma_{MC}^2 > \sigma_{IS}^2$ 。为了便于比较，定义

$$r = [N_{MC}/N_{IS}] |_{\sigma_{MC}^2 = \sigma_{IS}^2} = \frac{\sum_{x \in V^n} H[g(x)] f_X(x)}{\sum_{x \in V^n} H[g(x)] w_X(x) f_X(x)} \quad (12)$$

r 称为 IS 方法的效率，它表示在相同的精度下，IS

方法比 MC 方法节约样本的倍数。

重要性抽样方法的本质是用偏置概率分布代替原来的概率分布，使错误译码的数量大量增加，而权函数的作用就是把增加的部分抵消掉。如何选择偏置概率分布是重要性抽样方法成功的关键。

2 最佳偏置概率分布问题

设 (n, k, d) 线性分组码 C 的重量分布为 A_i ， $0 \leq i \leq n$ ，这里 A_i 表示重量为 i 的向量的数目。令 $N_t(i, j)$ 表示重量为 j 的码字的数目，它们与重量为 i 码字的距离小于等于 t ，显然 $i-t \leq j \leq i+t$ 。考虑转移概率为 p 的二元对称信道(BSC)。那么，某个特定的重量为 j 的错误图样 X 出现的概率为

$$f_X(x) = p^j (1-p)^{n-j} \quad (13)$$

因此，不可检错误的概率为

$$p_{ud} = \sum_{i=d}^n A_i \sum_{j=i-t}^{i+t} N_t(i, j) p^j (1-p)^{n-j} \quad (14)$$

通常 $p \ll 1$ ，因此，上式简化为

$$p_{ud} = \sum_{i=d}^n A_i N_t(i, i-t) p^{i-t} (1-p)^{n-(i-t)} \approx A_d N_t(d, d-t) p^{d-t} (1-p)^{n-(d-t)} \quad (15)$$

式中： $A_d N_t(d, d-t)$ 表示那些重量为 $d-t$ 错误图样的数目，它们与全部重量为 d (最小重量) 的码字的距离小于等于 t 。

在 IS 方法中，选取如下的偏置概率分布

$$f_X^*(x) = p_{IS}^j (1-p_{IS})^{n-j} \quad (16)$$

这里 p_{IS} 称为偏置转移概率， j 是 x 中“1”的数目， $p < p_{IS}$ 。这时

$$w_X(x) = \left(\frac{p}{p_{IS}} \right)^j \left(\frac{1-p}{1-p_{IS}} \right)^{n-j} \quad (17)$$

注意到式(12)的分子就是不可检错误概率，而式(12)的分母

$$\sum_{x \in V^n} H[g(x)] w_X(x) f_X(x) = \sum_{x \in V^n} w_X(x) f_X(x) = p_{ud} \left(\frac{p}{p_{IS}} \right)^j \left(\frac{1-p}{1-p_{IS}} \right)^{n-j} \quad (18)$$

把式(15)、式(18)代入式(12)得

$$r = \left(\frac{p_{IS}}{p} \right)^{d-t} \left(\frac{1-p_{IS}}{1-p} \right)^{n-(d-t)} \quad (19)$$

在 p 给定时， r 是 p_{IS} 的函数，并且当

$$p_{IS} = (d-t)/n \quad (20)$$

时达到极大值。上式表明， p_{IS} 只与选用的码型有关，而与信道转移概率 p 无关。把 p_{IS} 代入式(19)得

$$r_{\max} = \left(\frac{d-t}{np} \right)^{(d-t)} \left[\frac{n-(d-t)}{n(1-p)} \right]^{n-(d-t)} \quad (21)$$

3 (15,7) BCH 码和 (23,12) Golay 码的计算机仿真

IS 方法的仿真结果如图 2 和图 3 所示。图 2 给出了 (15,7) BCH 码不可检错误概率的仿真结果。当 $t=0$ 时,最佳偏置概率 $p_{IS}=0.2$, 样本总数 $N_{IS}=2000$; 当 $t=1$ 时, $p_{IS}=0.2667, N_{IS}=2000$; 当 $t=2$ 时, $p_{IS}=0.3333, N_{IS}=30000$ 。图 3 给出了 (23,12) Golay 码不可检错误概率的仿真曲线。当 $t=3$ 时, $p_{IS}=0.1796, N_{IS}=2000$; 当 $t=2$ 时, $p_{IS}=0.2174, N_{IS}=3000$; 当 $t=1$ 时, $p_{IS}=0.2609, N_{IS}=4000$; 当 $t=0$ 时, $p_{IS}=0.3043, N_{IS}=30000$ 。图 2 和图 3 给出的仿真结果与理论计算非常吻合。

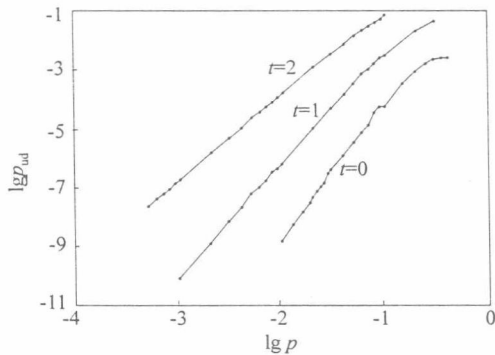


图 2 (15,7) BCH 码仿真结果

Fig. 2 The undetected error probability of the (15,7) BCH code

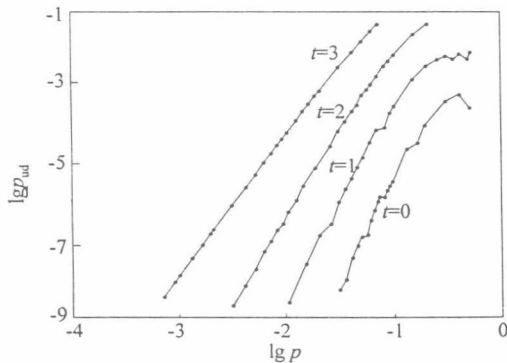


图 3 (23,12) Golay 码仿真结果

Fig. 3 The undetected error probability of the (23,12) Golay code

4 结 论

用重要性抽样方法估计线性码在同时纠错和检错时的不可检错误概率,从理论上得到了最佳偏置概率分布和仿真效率的分析表达式。对 (15,7) BCH 码和 (23,12) Golay 码的计算机仿真表明,仿真结果和实际情况非常吻合。本文的研究结果对重要性抽样方法在差错控制系统仿真中的应有重要意义。

参 考 文 献

- [1] Shammugan K S, Balaban P. A modified Monte-Carlo simulation technique for the evaluation of error rate in digital communication systems[J], IEEE Trans Commun, 1980, 28(11), 1916-1924.
- [2] Hahn P M, Jeruchim M C. Developments in the theory and application of importance sampling[J]. IEEE Trans. Commun, 1987, 35(7), 706-714.
- [3] Jeruchim M C. Techniques for estimating the bit error rate in the simulation of digital communications[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1984, 2(1): 153-170.
- [4] Herro M A, Nowack J M. Simulated Viterbi digital decoding using importance sampling [J]. IEE Proceedings F, 1998, 135(2): 133-142.
- [5] 徐大专. 用重要性抽样方法估计分组码的未检概率[J]. 通信学报, 1992, 13(1): 22-27.

作者简介:



徐大专(1963-) 男,江苏滨海人,南京航空航天大学信息科学与技术学院教授,博士,博士生导师,主要从事信息与编码理论、软件无线电和虚拟仪器方面的教学与科研工作。Email:xdzh@jlonline.com



许宗泽(1940-) 男,江苏常州人,南京航空航天大学信息科学与技术学院教授,博士生导师,主要从事扩频通信和移动通信系统方面的教学和科研工作。

(责任编辑:俞 敏)

ALGORITHM FOR AMBIGUITY RESOLUTION IN RANGE AND VELOCITY*

Zhang Gong Zhu Zhaoda Lü Bo

(College of Information Science and Technology, NUAA)
29 Yudao Street, Nanjing 210016, P. R. China

ABSTRACT

For enhancing performances and increasing functions of PD radar, High-PRF, medium-PRF and low-PRF are commonly applied into system ambiguity appeared in range and velocity in some PRF. Based on clustering, a sliding window correlator algorithm for resolving the radar object ambiguity in range and velocity is described. Slide window algorithm is a searching algorithm. The probability of ambiguity resolution for targets and the computational efficiency are discussed. The relations between the probability of ambiguity resolution of this algorithm and PRF, the range of interest, and the width of sliding window are analyzed. Simulational results are also given.

Key words: PD radar; ambiguity resolution; sliding window; clustering

CLC number: TN958 Document code: A

Article ID: 1005-1120(2001)02-0219-05

INTRODUCTION

A major classification of waveforms deals with ambiguity resolution in range and Doppler. Low-PRF waveforms are unambiguous in range but ambiguous in Doppler, medium-PRF waveforms are ambiguous in both range and Doppler,

and high-PRF waveforms are ambiguous in range but unambiguous in Doppler. Modern radar system has multiple PRF in common. When using the Chinese remainder theorem for ambiguity resolution, these PRFs must be prime to each other but this condition usually can't be met because of the restriction in designing a practical system^[1,2]. In addition, measurement errors will reduce probability of ambiguity. Ref. [3] proposed a clustering algorithm for ambiguity resolution. The clustering algorithm is found superior to the Chinese remainder theorem for resolving range ambiguities and is easier for medium-PRF than high-PRF waveforms to resolve all the range-Doppler ambiguities. This algorithm does not require a specific relationship between the multiple PRFs. However, it is worse on computational efficiency and the resolving ambiguity for multiple targets. Based on the clustering algorithm, a sliding window correlator algorithm for resolving the ambiguity in range and velocity is described in this paper. The sliding window correlator algorithm is effective in the case of low or medium PRF. Its computational efficiency is higher than that of the clustering algorithm for multiple targets. This algorithm has been applied to the practical system for resolving the ambiguity in range and velocity.

1 SLIDING WINDOW CORRELATOR ALGORITHM

Ref. [3] has compared the clustering algorithm to the Chinese remainder theorem for ambiguity resolution. The clustering algorithm indicates the goodness of the resolution process by constructing a cost function and has no special restricts to multiple PRF. Based on the clustering algorithm, we bring forward a sliding window correlator algorithm.

Suppose that the number of PRFs is m , the ambiguous range measurement for the i th PRF is R_i , and the unambiguous range for that PRF R_{ui} . All possible ranges can be expressed as

$$R_{K_i} = R_i + K_i R_{ui} \quad (1)$$

If the maximum range of interest is R_{max} , the integer K_i runs from

$$K_i = 0, \dots, \text{int}[R_{max}/R_{ui}] \quad (2)$$

All the possible ranges generated by the m ambiguous measurements are ordered from the smallest to the largest and denoted by R_{oi} .

We may approximately realize the clustering algorithm by sliding window correlator algorithm as follows.

Select a window with proper width and move it step by step. The position of sliding window is the true position of the target when some group of m possible ranges appear in the window synchronously at a certain position, as shown in Fig. 1.

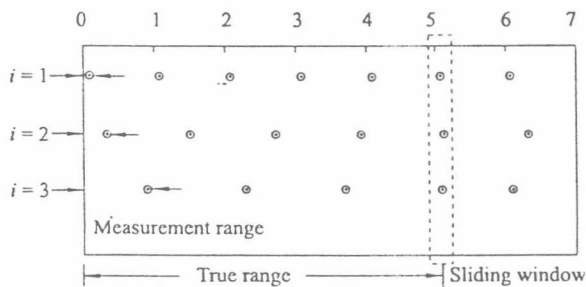


Fig. 1 Sliding window correlator sketch map

2 PERFORMANCE ANALYSIS

The probability of correctly resolving ambiguities is much higher for a medium than a high PRF waveform. Ref. [3] had made it sure in his paper with analysis and examples, and he also pointed out that it is difficult (and maybe impossible) to be proved.

The measurement accuracy is another important factor that affects the probability of ambiguity resolution. The measurement accuracy refers to range and velocity cells.

Ref. [3] indicated that the probability of ambiguity resolution for medium PRF is better than that of high PRF under the condition of the same measurement accuracy, and the probability decreases when the measurement error increases for both high and medium PRF.

The maximum range and velocity of interest R_M and v_M are also very important factors of the probability of ambiguity resolution. The total number of ambiguities N_T ^[3] is

$$N_T = 2v_M R_M / (v_U R_U) = 8v_M R_M F / C^2 \quad (3)$$

where R_U is the unambiguous range, v_U the unambiguous velocity; F the transmission frequency and C the velocity of light. It can be known from Eq. (3) that larger R_M and v_M cause lower probability in the condition of the same PRF and measurement accuracy although the probability and the total number of ambiguities are not the same absolutely. For example, an airborne X band radar adopts 3 PRFs to resolve ambiguity in range. The range cell is 75 m. The numbers of range cells are 20, 21 and 23. The true range is uniformly distributed over $20 \times 20 \times 23$ range cells. Supposing 1 000 targets uniformly distributed from 0 to the maximum range of interest, we get the graphs of the relationships between the probability of ambiguity resolution and the range of interest as shown in Fig. 2, with the sliding window correlator algorithm by simulation.

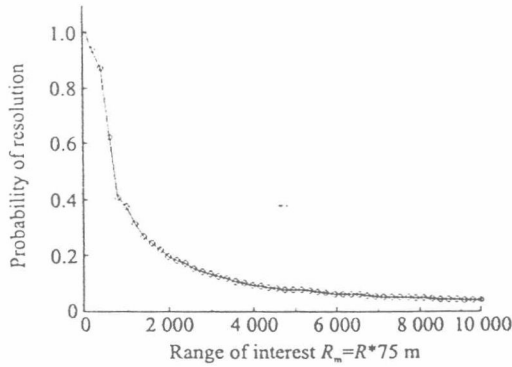


Fig. 2 Probability of ambiguity resolution versus range of interest (high PRF)

For a medium PRF system having three PRFs, the range cell is 75 m; the numbers of range cells, are 58, 101 and 119, 1 000 targets distributing uniformly over the interest range of 0~6 000 range cells. We can obtain the relationship between the probability of ambiguity resolution and the range of interest as shown in Fig. 3 with sliding window correlator algorithm by simulation. Compared to Fig 2, the effective range of interest in medium PRF is bigger than that in high PRF. This conclusion is consistent with the relationship between the probability of ambiguity resolution and PRF presented in Ref. [3].

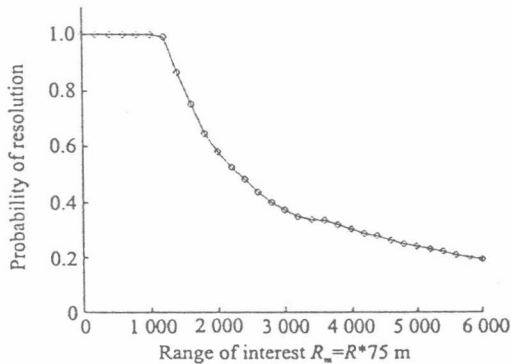


Fig. 3 Probability of ambiguity resolution versus range of interest (medium PRF)

The width of sliding window is another important factor of the sliding window correlator algorithm and it affects the probability of ambi-

guity resolution directly. The relationship between the probability of ambiguity resolution and the width of sliding window has been investigated by computer simulation. Fig. 4 shows the simulational result for the case of medium PRF with the same parameters as window may be selected in a rather wide range above. From Fig. 4 we see the width of sliding or the case of single target. But the width of sliding window should be smaller for the case of multiple targets. In resolving the ambiguity of range, the measurement unit is range cell and it has no relation with PRF. Considering quantization error uniformly distributed in two range cells, the width of sliding window is set to two range cells in the practical system. But the setting of width of sliding window needs further research in resolving the ambiguity of velocity, because different PRF results in different measurement units and velocity cells.

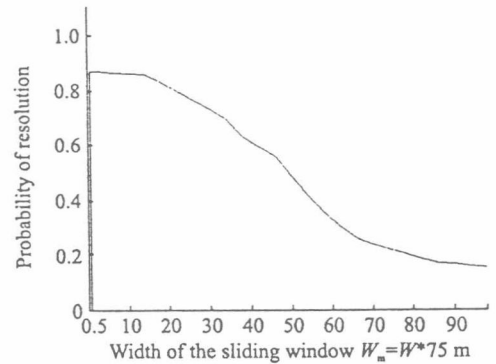


Fig. 4 Probability of ambiguity resolution versus width of sliding window (medium PRF)

The factors such as number of multiple PRFs, range cell, velocity cell, and range of interest should be planned as a whole when designing a system.

3 COMPUTATION BURDEN OF ALGORITHM

In essence both the clustering and the slid-

ing window correlator algorithms are belong to the sliding window algorithm. In the clustering algorithm, all the possible ranges generated by the m ambiguous measurements are ordered from the smallest to the largest, then the average squared errors for m consecutive ordered ranges are got. Finally the best cluster occurs when the average squared error is a minimum. The clustering algorithm is equivalent to a sliding window algorithm with variable width of sliding window, but the sliding window correlator algorithm has a constant width of sliding window.

For example, for a single target and $m=3$, the total number of operation of the clustering algorithm is

$$k_1 \times k_2 \times k_3 \times (3 \text{ multiplication} + 24 \text{ addition} + 9 \text{ comparison}) \quad (4)$$

where k_1, k_2 and k_3 are the times of the unambiguous range in the interest range for three PRFs. They are related to the class of PRF. Suppose one multiplication instruction takes 2 machine cycles, one addition instruction, and one comparison instruction take 1 machine cycle. The computation burden of the sliding window correlator algorithm is

$$K_n \times (1 \text{ multiplication} + 9 \text{ addition} + 7 \text{ comparison}) \quad (5)$$

Taking the parameters of the above example, $k_1 = 21 \times 23 + 1 = 484$, $k_2 = 20 \times 23 + 1 = 461$, $k_3 = 20 \times 21 + 1 = 421$, and K_n the number of full range cells. $K_n = 20 \times 21 \times 23 = 9\ 660$ range cells, we can approximately estimate the ratio of computation burden for the two algorithms being 31 600.

4 CONCLUSIONS

The clustering algorithm is relatively suited for the ambiguity resolution of single target. The processing burden and false resolution will

obviously increase for multiple targets. When using the sliding window correlator algorithm the false resolution only relates to the distribution of targets in unambiguous range and the processing burden only increase slightly when the number of target increases. With some probability of false resolution and limited targets, it may satisfy ambiguity resolution for many targets. The sliding window correlator algorithm is more suited for a practical system than clustering algorithm in low or medium PRF for multiple targets.

The influence of multiple targets distributed in unambiguous range on the probability of ambiguity resolution and the setting of width of sliding window in resolving ambiguity of velocity needs further research.

REFERENCES

- 1 Long W, Mooney D, Skillman W. Pulse Doppler radar, Chapter 17, Radar Handbook [H]. Second Edition, USA: McGraw Hill, 1990
- 2 Morris G V. Airborne pulsed Doppler radar [M]. USA: Artech House, 1988
- 3 Trunk G, Brockett S. Range and velocity ambiguity resolution[C]. In: IEEE National Radar Conference, 1993. 146~149
- 4 Hovanessian S A. Radar system design and analysis [M]. USA: Artech House, Norwood, MA, 1984
- 5 Hovanessian S A. Medium PRF radar design and performance[J]. IEEE Trans On AES, 1982, AES-18 (3):286~296
- 6 Simpson J. PRF set selection for pulse-Doppler radars[C]. In: Proc IEEE Region Five Conference, 1988
- 7 Mao Shiyi, Zhang Ruisheng, Xu Weiwu. Pulse-Doppler radar[M]. Beijing: National Defence Industry Publishing Press, 1990. 211~222(in Chinese)
- 8 Sun Zhongkang. Radar data and digital processing [M]. Beijing: National Defence Industry Publishing Press, 1983(in Chinese)

用于解距离和速度模糊的算法

张 弓 朱兆达 吕 波

(南京航空航天大学信息科学与技术学院 南京 210016, 中国)

摘要 为了提高检测性能和实现多功能, PD 雷达常采用高、中、低脉冲重复频率 PRF。对应一定的脉冲重复频率, PRF 会出现测距模糊、测速模糊。以聚类算法为基础, 本文介绍了一种用于雷达目标解距离、速度模糊的滑窗相关器算法。该滑窗算法是一种遍历性的算法。文中对该算法的解模糊正确率、运算效率进行了讨论, 分析了解模糊

正确率与脉冲重复频率 PRF、检测范围、滑窗宽度间的关系, 同时给出了仿真结果。

关键词: PD 雷达; 解模糊; 滑窗; 聚类

中图分类号: TN958

基于 SHARC 处理器的数字脉冲压缩实现

苗 澎,张 弓

(南京航空航天大学 信息科学与技术学院,江苏 南京,210016)

摘 要:用 ADSP21060 浮点数字信号处理器实现高性能、高精度的数字压缩。采用频域快速卷积法实现脉冲压缩,并讨论了实现中的几个问题。最后,对实测 Etna 火山星载合成孔径雷达(SAR)数据进行二次压缩成像,并对结果进行了分析。

关键词:星载综合孔径雷达;ADSP21060;脉冲压缩

中图分类号:TN911.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-0401(2001)03-0043-04

Implementation of Digital Pulse Compression Based on SHARC Processor

MIAO Peng, ZHANG Gong

(College of Information Science and Technology, Nanjing University
of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: High performance and accuracy digital compression is completed by ADSP21060 floating point digital signal processor. A method of FFT in frequency domain is used and several problems in realization are discussed in this paper. In the end, on-the-spot Etna volcano data based on satellite-borne synthetic aperture radar are compressed then the results are analyzed.

Key Words: satellite-borne SAR; ADSP21060; pulse compression

1 引 言

综合孔径雷达是一种高分辨成像雷达,利用它可在能见度极差的气象条件下得到类似光学照相的高分辨率雷达图像^[1]。星载综合孔径雷达是一种全天时、全天候空间微波遥感雷达^[2]。随着数字信号处理技术的发展越来越成熟,综合孔径雷达信号处理技术也迅速发展起来。由于合成孔径雷达信号处理的复杂性以及实时性,要求信号处理器有大容量的存储器和高速数据处理效率。

本文采用了美国 AD 公司的 DSP 芯片 ADSP21060,实现对在旁式工作模式下星载 SAR 实测数据进行脉冲压缩并成像。

收稿日期:2001-05-06

作者简介:苗澎(1972-),男,江苏人,现为南京航空航天大学信息科学与技术学院 99 级硕士研究生,专业为通信电路与系统。

2 硬件实现原理

可以把综合孔径雷达等效成一个具有二维脉冲压缩的滤波器,当忽略二维耦合时,可将此二维过程分解成两个一维过程的级联;即将地域回波信号通过两个匹配滤波器,分别进行距离和方位向的压缩。输入回波信号 $s(n)$ 经过一冲激响应为 $h(n)$ 的滤波器,输出为

$$y(n) = s(n) * h(n) = \sum_{i=0}^{N-1} s(i)h(n-i) = F^{-1}\{F[s(n)F[h(n)]]\} \quad (1)$$

事实上,当在频域上选取一参考信号,使得它为输入信号的复共轭,即为 $s^*(k)$,再与输入信号在频域中相乘再变换回时域中去,就等于输入信号与匹配的滤波器的冲激响应。

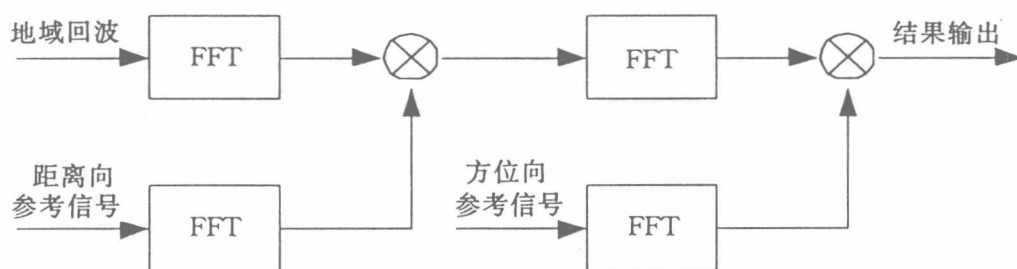


图1 实现快速卷积原理图

3 实现方案

3.1 开发软硬件平台

本开发系统采用 SPECTRUM 公司达林顿 PCI 总路线母板,共有三块 AD 公司的 ADSP-21060 SHARC-Super Harvard Architecture Computer,它是一种高性能 32 位数字信号处理器,可用于语音、声纳和图像处理。由于其独特的内核设计、多内部总线、大容量双端口片内存储器及集成通信支持,使得 ADSP21060-SHARC 处理器可提供高速吞吐量。每片 SHARC 能同时支持 120Mbit/s 计算和 240Mbit/s I/O 传输。

在本系统中 SHARC 之间的数据传输采用中断方式,这样可大大提高效率。ADSP21060 提供了 10 条 DMA 通道,通道的数据传输由 DMA 控制器控制,并自动完成不同字宽数据格式间数据的打包和展开,并能自动初始化。

软件平台为标准 C 下的 SPECTRUM 公司所提供的 APEX3.2 开发系统以及调试工具。数字信号处理库函数为 AD 公司和 WCI 的函数库。

3.2 系统拓扑结构

本系统采用簇形拓扑结构,每片 SHARC 用 link 口进行数据通信,使用 worm21k 命令可以查看其 link 口连接情况。三片 SHARC 编号为 0,1,2。其中 0 号为引导 SHARC,完成从文件中读入数据,进行距离向压缩,并将两次压缩后的结果写入文件;2 号完成矩阵转置;1 号完成方位向压缩。

3.3 系统实现中的几个问题

(1) 傅里叶变换的点数

当 M 点长和 N 点长信号进行快速卷积时,要使圆周卷积等于线性卷积而不发生混迭失真的条件是把两信号的补零增长至 $L \geq M + N - 1$ 点长。

(2) 对文件的操作及数据格式

原始数据是经 Matlab 处理后的 mat 文件,目的是为了能用 C 语言对文件进行操作。存储文件时分为实部和虚部两个文件存放,且数据格式为浮点 32 位。只有通过引导 SHARC 才能对文件进行读写,且读入数据格式也要为 32 位。在 SHARC 中,对文件的读写和标准 C 语言不同,不要使用 FILE * fp 定义文件指针及 fopen 打开文件。同时要使用 read32 和 write32 函数,此外要注意在 C 语言中,每次对文件的读写是按列进行的。

(3) 矩阵转置

21060 的 RAM 可分为

内部存储空间 0x0000 0000 ~ 0x0007 FFFF

多处理器存储空间 0x0008 0000 ~ 0x003F FFFF

外部存储空间 0x0040 0000 ~ 0xFFFF FFFF

当片内使用 32 位字长时,数据存储器为 128K,其 RAM 共有 $128K \times 32$ 位 = 4M。

外部存储区被划分为四个 BANK 分组区和无分组区,如图 2 所示。

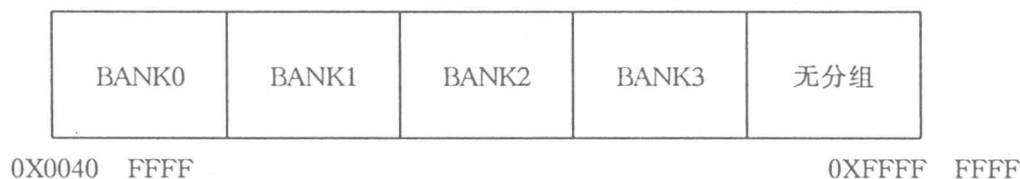


图 2 21060 片外 RAM 分配图

在本系统中,SHARC2 扩展外存为 BANK0, BANK1,曾试图在 C 源程序中定义一 1024×1024 二维复数组,但编译通不过。后来用指针对从 0X00400000 地址进行读写从而进行矩阵转置的操作。此外,还要修改 SYSCON 寄存器的 MSIZE(第 12~15 位),其计算方法如下:

$$\text{MSIZE} = \log_2(\text{所需 BANK 容量}) - 13。$$

本系统外存使用了 BANK0 和 BANK1,各为 $1M \times 40\text{bit}$,因此, $\text{MSIZE} = 7$ 。

(4) 流水的实现

① 采用双缓冲读入数据,这样可以保证当一个缓冲区读入数据时,另一个缓冲区的数据可以同时被处理。

② 在进行矩阵转置时,当读入的数据量大于外存容量时,只有把外存区分为两个容量相同的部分对数据进行处理,当其中第一块外存区存满数据后,转入第二块外存区进行转置。

4 参数及结果

4.1 参数

卫星距离地面最短距离 $R_0 = 2.05e + 5$

地球平均半径 $R_e = 6368.47e + 3$

波束方位向宽度 $\beta = 0.14\pi/180$

卫星轨道速度	$V_s = 7028.8$
卫星地面投影速度	$V_B = V_s R_e / (R_0 + R_e)$
带宽	$B_w = 1.89900456e + 7$
时宽	$T = 4.05e - 5$
距离向采样频率	$f_s = 2.249856e + 7$
发射脉冲重复频率	$Prf = 1.736e + 3$
综合孔径长度	$L_s = R_0 \beta / \cos(48.66142\pi/180)$
综合孔径时间	$T_a = L_s / V_s$

4.2 运行时间比较

在进行 FFT 和 IFFT 运算时,分别用 WCI 和 AD 公司的数字信号处理库函数,并对处理时间进行了比较,1024 点复数进行 FFT 所需时间分别为 0.54ms 和 1.33ms。在使用 WCI 库时,对 N 点 FFT 数据要先在程序存储产生 $N/2$ 点的旋转因子,这样可大大节省运行时间。

4.3 重要波形

对输入数据每行进行相干叠加,如图 1 所示,可以看出其天线指向特性。

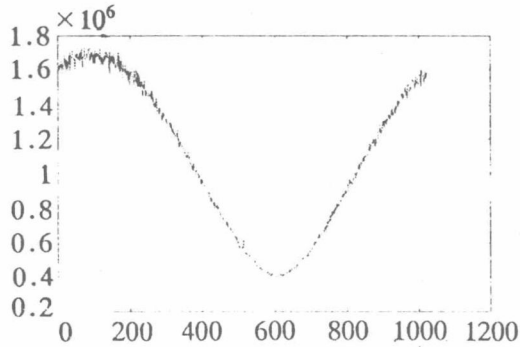


图 3 天线指向特性

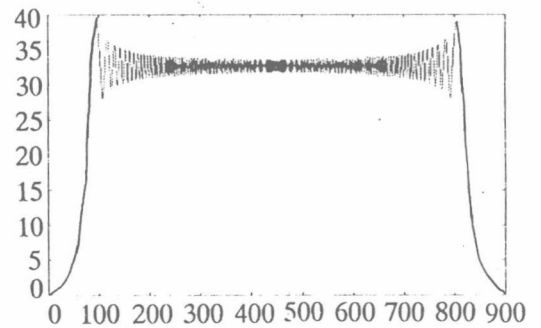


图 4 频域距离向参考信号(未加权)

4.4 图像结果

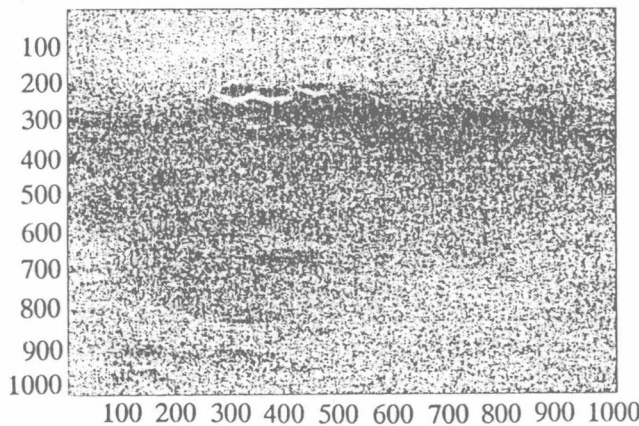


图 5 经过两次压缩图像

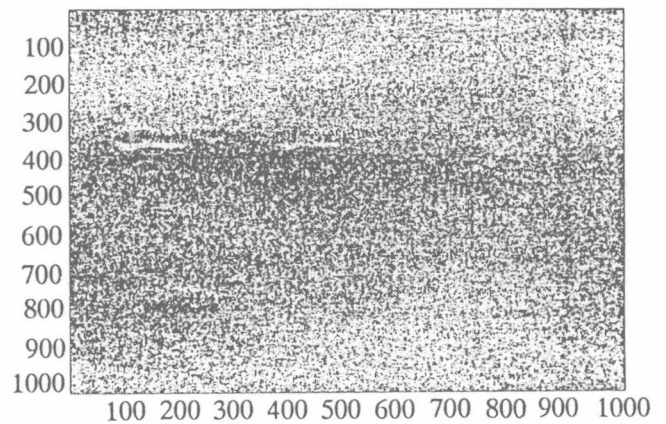


图 6 卷积结果混叠的图像

当未补零增长至 $L \geq M + N - 1$ 点长时有卷积结果混叠,右图有火山口位置已发生移动。

(下转第 23 页)