



三次样条插值在通信工程中的应用

索昂代吉

(青海省无线电管理办公室玉树管理处, 青海 玉树 815000)

摘要:在通信工程实践中,经常会遇到离散测量数据的拟合问题,即用已知的有限样本估计一些缺失的未知样本,这时就需要借助插值运算。通过对三次样条插值算法进行研究,将其应用至自由空间损耗计算、馈线插入损耗估计、相关干涉测向3个方面,并通过仿真验证三次样条插值算法在通信工程应用中的有效性。

关键词:三次样条插值;自由空间传输损耗;馈线插入损耗;相关干涉测向

中图分类号: TN99

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2017011

Application of cubic spline interpolation in communication engineering

SUOANG Daiji

Office of Yushu Radio Management, Wireless Administration of Qinghai Provincial, Yushu 815000, China

Abstract: In the communication engineering practice, it often needs to estimate the unknown samples which are missing with the limited samples, then the interpolation operation is needed. Based on the research of cubic spline interpolation, the validity was given in communication engineering applications of the cubic spline interpolation by the experimental results on free space loss calculation, feeder insertion loss estimation, correlative interferometer.

Key words: cubic spline interpolation, free-space transmission loss, feeder insertion loss, correlation interferometer direction finding

1 引言

通信工程实践中,经常遇到离散数据的采样问题,有时因为所涉及的样本较多,会有一部分有用样本未被采集到。一种方法是在采样时尽可能多地将所需样本全部采集到,这种方法得到的数据结果较为准确,但是测量时间较长,导致工作效率降低;另一种方法是用采集到的已知样本来完成一些未知所需样本的计算。而插值作为一种数值逼近的重要方法,可以通过有限个样本的取值情况估计出未知样本的近似值。

目前常见的插值算法有拉格朗日插值、牛顿插值、厄米特插值、样条插值等。前3种插值方式均为线性插值,线性插值计算简单稳定,但是其插值误差较大,而且光滑性较差^[1]。因此需要一种更好的插值算法,既有线性插值的优点,又能保证插值精度,使得插值得到的数据和真实数据的误差都在合理范围内,三次样条插值就可以满足上述需求。而且,近年来三次样条插值也已广泛应用至通信领域,参考文献[2]提出将经典对数距离衰减模型中的衰减因子由距离和信号强度的三次样条插值函数代替,在不增加参数的情况下减少模型误差,在指纹识别法校准阶段仅对有



限位置的信号强度进行采集,通过衰减模型估计其他位置的信号强度,进而减少校准工作量。参考文献[3]提出将三次样条插值应用于 WCDMA 移动终端中功率放大器(PA)的校准过程中,通过测量少量采样点配合三次样条插值得到 PA 的功率曲线。参考文献[4]提出了一种基于三次样条插值的改进去噪算法,利用 Ad Hoc 算法搜索信号产生模极大值点,形成模极大值线,对于保留下来的模极大值点进行三次样条插值,得到信号的估计小波系数,进而用估计小波系数重构原始信号,达到滤波去噪的目的。除通信领域外,三次样条插值在其他领域也有较广泛的应用,如风洞试验^[5]、电力系统信号采样重构^[6]等。

2 三次样条插值

数学中的样条(spline)一词来源于它的直观几何背景,绘图员或钣金工人常用弹性木条或金属条加压铁(构成样条)固定在样点上,在其他地方让它自由弯曲,然后画下长条的曲线,称为样条曲线。样条曲线实际上是由分段三次曲线拼接而成,在连接点上要求二阶导数连续,从数学上加以概括就得到数学样条这一概念。

2.1 三次样条插值的函数定义^[1]

给定区间 $[a, b]$ 上的各节点 $a=x_0 < x_1 < \dots < x_n=b$ 和这些节点上的函数值 $f(x_i)=y_i(i=0, 1, \dots, n)$,若 $S(x)$ 满足:

- $S(x_i)=y_i(i=0, 1, \dots, n)$;
- $S(x)$ 在每一个小区间 $[x_i, x_{i+1}](i=0, 1, \dots, n-1)$ 上是次数小于或等于 3 的多项式;
- $S(x), S'(x), S''(x)$ 在 $[a, b]$ 上连续。

则称 $S(x)$ 为函数 $f(x)$ 关于节点 $x_0, x_1, \dots, x_n$ 的三次样条插值函数。分段三次样条插值曲线如图 1 所示。

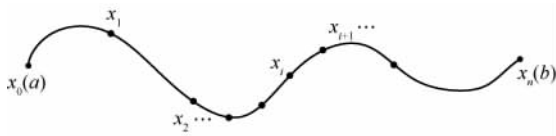


图 1 分段三次样条插值曲线

从定义可知,要求出 $S(x)$,在每个小区间 $[x_i, x_{i+1}]$ 上要确定 4 个待定系数,共有 n 个小区间,故应确定 $4n$ 个参数。

根据 $S(x)$ 在 $[a, b]$ 上二阶导数连续,在节点 $x_i(i=1, 2, \dots, n-1)$ 处应满足连续性条件:

$$S(x_i-0)=S(x_i+0) \quad (1)$$

$$S'(x_i-0)=S'(x_i+0) \quad (2)$$

$$S''(x_i-0)=S''(x_i+0) \quad (3)$$

共有 $3(n-1)=3n-3$ 个条件,再加上 $S(x)$ 满足插值条件 $S(x_i)=y_i(i=0, 1, \dots, n)$,总共有 $3n-3+n+1=4n-2$ 个条件,因此还需要 2 个条件才能确定 $S(x)$ 。

通常可在区间 $[a, b]$ 端点 $a=x_0, b=x_n$ 上各加一个条件(称为边界条件),可根据实际问题的要求给定,常见的有以下 3 种:

- 已知两端的一阶导数值,即 $S'(x_0)=f'_0, S'(x_n)=f'_n$ (固支边界);
- 已知二端的二阶导数值,即 $S''(x_0)=f''_0, S''(x_n)=f''_n$, (简支边界),特殊情况为 $S''(x_0)=S''(x_n)=0$ (自然边界条件);
- 当 $f(x)$ 是以 x_n-x_0 为周期的周期函数时,则要求 $S(x)$ 也是周期函数,这时边界条件应满足:

$$S(x_0-0)=S(x_n+0) \quad (4)$$

$$S'(x_0-0)=S'(x_n+0) \quad (5)$$

$$S''(x_0-0)=S''(x_n+0) \quad (6)$$

而此时 $y_0=y_n$,这样确定的样条函数 $S(x)$ 称为周期样条函数。

2.2 三弯矩算法

三次样条插值函数 $S(x)$ 可以有多种表达式,有时用二阶导数值 $S''(x)=M_i(i=0, 1, \dots, n)$ 表示时,使用更为方便。 M_i 在力学上解释为细梁在 x_i 处的弯矩,并且得到的弯矩与相邻两个弯矩有关,故称用 M_i 表示 $S(x)$ 的算法为三弯矩算法。

由于 $S(x)$ 在区间 $[x_i, x_{i+1}]$ 上是三次多项式,故 $S'(x)$ 在 $[x_i, x_{i+1}]$ 上是线性函数,可表示为:

$$S''(x)=\frac{x_{i+1}-x}{h_i}M_i+\frac{x-x_i}{h_i}M_{i+1}, x \in [x_i, x_{i+1}], h_i=x_{i+1}-x_i \quad (7)$$

对式(7)进行积分,得:

$$S'(x)=\frac{(x_{i+1}-x)^2}{2h_i}M_i+\frac{(x-x_i)^2}{2h_i}M_{i+1}+c_1 \quad (8)$$

再积分得:

$$S(x)=\frac{(x_{i+1}-x)^3}{6h_i}M_i+\frac{(x-x_i)^3}{6h_i}M_{i+1}+c_1x+c_2, x \in [x_i, x_{i+1}] \quad (9)$$

由条件 $S(x_i)=y_i, S(x_{i+1})=y_{i+1}$ 确定积分常数 c_1, c_2 :

$$c_1=\frac{y_{i+1}-y_i}{h_i}-\frac{1}{6}h_i(M_{i+1}-M_i) \quad (10)$$

$$c_2=\frac{y_{i+1}-y_i}{h_i}-\frac{1}{6}h_i(x_{i+1}M_i-x_iM_{i+1}) \quad (11)$$

将 c_1, c_2 代入三次样条插值函数 $S(x)$ 的表达式中,可知,只要确定 $M_i(i=0, 1, \dots, n)$ 这 $n+1$ 个值,就可定出三次样

条插值函数 $S(x)$ 。

为了确定 $M_i(i=0,1,\dots,n)$ 的值,对 $S(x)$ 求导得:

$$S'(x) = \frac{(x_{i+1}-x)^2}{2h_i} M_i + \frac{(x-x_i)^2}{2h_i} M_{i+1} + \frac{y_{i+1}-y_i}{h_i} - \frac{1}{6} h_i (M_{i+1}-M_i),$$

$$x \in [x_i, x_{i+1}] \quad (12)$$

类似的,对于 $x \in [x_{i-1}, x_i]$:

$$S'(x) = \frac{(x_i-x)^2}{2h_{i-1}} M_{i-1} + \frac{(x-x_{i-1})^2}{2h_{i-1}} M_i + \frac{y_i-y_{i-1}}{h_{i-1}} - \frac{1}{6} h_{i-1} (M_i-M_{i-1}),$$

$$x \in [x_{i-1}, x_i] \quad (13)$$

应用导数连续条件 $S'(x_i-0)=S'(x_i+0)$:

$$S'(x_i+0) = -\frac{h_i}{3} M_i - \frac{h_i}{6} M_{i+1} + \frac{y_{i+1}-y_i}{h_i} \quad (14)$$

$$S'(x_i-0) = -\frac{h_{i-1}}{6} M_{i-1} + \frac{h_{i-1}}{3} M_i + \frac{y_i-y_{i-1}}{h_{i-1}} \quad (15)$$

利用 $S(x)$ 在内接点的连续性,即 $S'(x_i-0)=S'(x_i+0)$ 可得:

$$\frac{h_{i-1}}{6} M_{i-1} + \frac{h_{i-1}+h_i}{3} M_i + \frac{h_i}{6} M_{i+1} = \frac{y_{i+1}-y_i}{h_i} - \frac{y_i-y_{i-1}}{h_{i-1}} \quad (16)$$

两边同乘 $\frac{6}{h_{i-1}+h_i}$, 即得:

$$\frac{h_{i-1}}{h_{i-1}+h_i} M_{i-1} + 2M_i + \frac{h_i}{h_{i-1}+h_i} M_{i+1} = \frac{6}{h_{i-1}+h_i} \left[\frac{y_i-y_{i-1}}{h_{i-1}} - \frac{y_{i+1}-y_i}{h_i} \right],$$

$$i=1,2,\dots,n-1 \quad (17)$$

若记 $\mu_i = \frac{h_{i-1}}{h_{i-1}+h_i}$, $\lambda_i = \frac{h_i}{h_{i-1}+h_i}$, $d_i = \frac{6}{h_{i-1}+h_i} \left[\frac{y_i-y_{i-1}}{h_{i-1}} - \frac{y_{i+1}-y_i}{h_i} \right] =$
 $6f[x_{i-1}, x_i, x_{i+1}]$, 所得方程可以简写为:

$$\mu_i M_{i-1} + 2M_i + \lambda_i M_{i+1} = d_i, i=1,2,\dots,n-1 \quad (18)$$

此方程组即三弯矩方程。这是一个含有 $n+1$ 个未知数、 $n-1$ 个方程的线性方程,要完全确定 $M(i=0,1,\dots,n)$ 的值还需要补充两个条件,这两个条件通常根据实际问题的需要,根据插值区间 $[a,b]$ 两个端点处的边界条件来补充。

(1) 已知两端点的一阶导数值 $S'(x_0)=f'_0$, $S'(x_n)=f'_n$

由式(14)得, $S'(x_i+0) = -\frac{h_i}{3} M_i - \frac{h_i}{6} M_{i+1} + \frac{y_{i+1}-y_i}{h_i}$, 令 $i=0$, 得:

$$\frac{h_0}{3} M_0 + \frac{h_0}{6} M_1 = \frac{y_1-y_0}{h_0} - f'_0 \quad (19)$$

由式(15)得, $S'(x_i-0) = \frac{h_{i-1}}{6} M_{i-1} + \frac{h_{i-1}}{3} M_i + \frac{y_i-y_{i-1}}{h_{i-1}}$, 令 $i=n$, 得:

$$\frac{h_{n-1}}{6} M_{n-1} + \frac{h_{n-1}}{3} M_n = f'_n - \frac{y_n-y_{n-1}}{h_{n-1}} \quad (20)$$

整理式(19)、式(20)得:

$$2M_0 + M_1 = \frac{6}{h_0} \left(\frac{y_1-y_0}{h_0} - f'_0 \right) \equiv d_0 \quad (21)$$

$$M_{n-1} + 2M_n = \frac{6}{h_{n-1}} \left(f'_n - \frac{y_n-y_{n-1}}{h_{n-1}} \right) \equiv d_n \quad (22)$$

令 $\lambda_0=1, \mu_n=1$, 得到 $M(i=0,1,\dots,n)$ 满足的方程组为:

$$\begin{bmatrix} 2 & \lambda_0 & & & \\ \mu_1 & 2 & \lambda_1 & & \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & \mu_{n-1} & 2 & \lambda_{n-1} \\ & & & \mu_n & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_0 \\ M_1 \\ \vdots \\ M_{n-1} \\ M_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_0 \\ d_1 \\ \vdots \\ d_{n-1} \\ d_n \end{bmatrix} \quad (23)$$

(2) 已知两端点的二阶导数值 $S''(x_0)=M_0=f''_0$, $S''(x_n)=M_n=f''_n$ 代入方程(17), 只需解 $n-1$ 个方程, 即:

$$\begin{bmatrix} 2 & \lambda_1 & & & \\ \mu_2 & 2 & \lambda_2 & & \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & \mu_{n-2} & 2 & \lambda_{n-2} \\ & & & \mu_{n-1} & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_{n-2} \\ M_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 - \mu_1 f''_0 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_{n-2} \\ d_{n-1} - \lambda_{n-1} f''_n \end{bmatrix} \quad (24)$$

(3) 第三类边界条件 $S'(x_0+0)=S'(x_n-0)$, $S''(x_0+0)=S''(x_n-0)$

由式(14)、式(15)及边界条件 $S'(x_0+0)=S'(x_n-0)$

可得:

$$\frac{h_0}{6} M_1 + \frac{h_{n-1}}{6} M_{n-1} + \frac{1}{3} (h_0+h_{n-1}) M_n = \frac{y_1-y_0}{h_0} - \frac{y_n-y_{n-1}}{h_{n-1}} \quad (25)$$

两边同除以 $\frac{h_0+h_{n-1}}{6}$, 得:

$$\frac{h_0}{h_0+h_{n-1}} M_1 + \frac{h_{n-1}}{h_0+h_{n-1}} M_{n-1} + 2M_n = \frac{6}{h_0+h_{n-1}} \left(\frac{y_1-y_0}{h_0} + \frac{y_n-y_{n-1}}{h_{n-1}} \right) \quad (26)$$

令 $\lambda_n = \frac{h_0}{h_0+h_{n-1}}$, $\mu_n = 1 - \lambda_n = \frac{h_{n-1}}{h_0+h_{n-1}}$, $d_n = \frac{6}{h_0+h_{n-1}} \left(\frac{y_1-y_0}{h_0} + \frac{y_n-y_{n-1}}{h_{n-1}} \right)$ 得:

$\frac{y_n-y_{n-1}}{h_{n-1}}$ 得:

$$\lambda_n M_1 + \mu_n M_{n-1} + 2M_n = d_n \quad (27)$$

又由 $M_0=M_n$, 三弯矩方程可写为:

$$\begin{bmatrix} 2 & \lambda_1 & & & \\ \mu_2 & 2 & \lambda_2 & & \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & \mu_{n-1} & 2 & \lambda_{n-1} \\ \lambda_n & & & \mu_n & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_{n-1} \\ M_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_{n-1} \\ d_n \end{bmatrix} \quad (28)$$

式(23)、式(24)、式(28)系数矩阵都是严格对角占优矩阵,因此式(23)、式(24)、式(28)有唯一解,可用追赶法进行求解。



3 三次样条插值在通信工程中的实际应用

选取 3 个典型实例对三次样条插值在通信工程中的应用来进行验证,并将三次样条插值的结果和线性插值、分段三次厄米特插值算法作对比,以下试验均在国家无线电频谱管理研究所的帮助下完成。

3.1 试验 1

在此用自由空间传播损耗^[7]作为例子来说明三次样条插值。自由空间传播损耗 L_0 是用在自由空间中两个理想点源天线(增益系数 $G=1$ 的天线)之间的传播损耗来定义的,它表示在自由空间中,当发射天线与接收天线的增益系数 $G_T=G_A=G$ 时,发射天线的输入功率(发射功率)与接收天线的输出功率(接收功率)之比,即:

$$L_0 = \frac{P_T}{P_A} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (29)$$

若以分贝表示:

$$L_0 = 10 \lg \frac{P_T}{P_A} = 20 \lg \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (30)$$

或:

$$L_0 = 32.45 + 20 \lg f + 20 \lg d = 92.45 + 20 \lg f + 20 \lg d \quad (31)$$

其中, f 为工作频率, d 为传播距离。

在试验中,固定 $f=5$ MHz,观察 L_0 随距离 d 的变化情况,取 6 个插值点来进行试验,见表 1。图 2、图 3 分别给出了不同插值算法的插值结果及误差。

从上述结果可以看出,三次样条插值要明显优于线性插值,和分段三次厄米特插值的插值结果不相上下,但是在两个插值点之间斜率较大时,三次样条插值的结果仍要优于分段三次厄米特插值。

3.2 试验 2

在实际工作中,经常需要对已有的馈线插入损耗值进行测试,为了减少测试人员的工作量,可以在测试时选取少量的测试点,然后再采用插值的方法获得馈线在未测频点处的插损值。在本次试验中,首先利用标网测量实际在使用的一根金波 DC-26.5 GHz 低损耗馈线,得到一组原始测试数据,然后从这一组原始数据中选取 11 个插值点进行插值运算,得到 3 组不同的插值结果,见表 2,其中“*”为选择的 11 个插值点。3 种插值算法的插值误差如图 4 所示。

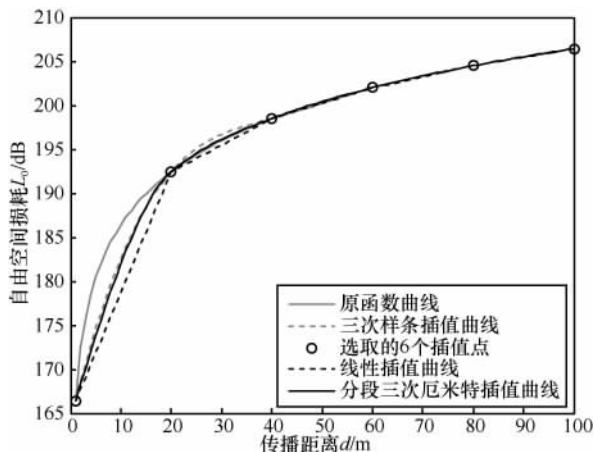


图 2 3 种插值算法插值结果

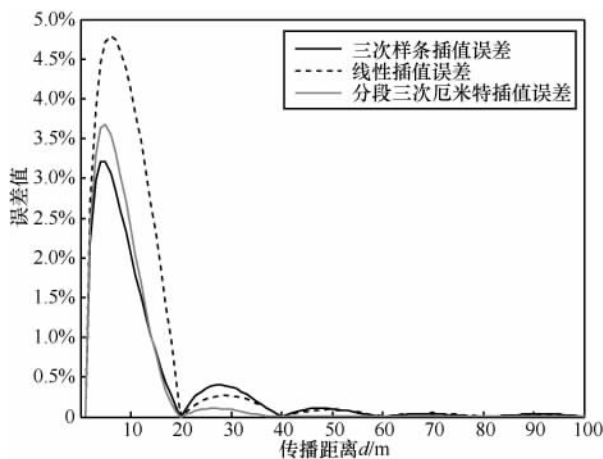


图 3 3 种不同插值算法的插值误差

从以上结果中可以看出,采用插值方法对馈线插损值进行插值时,在低频段处插值误差较大,高频点处的计算值则可以满足实际需求,因此在使用时,可以将低频点的测试步进选择得尽可能小,高频点处就可以相对选择得稀疏一些。对比 3 种插值算法,三次样条插值得到的插值结果相对来说误差较小,更适合实际应用。

3.3 试验 3

在相关干涉测向中,需要在设计的天线阵列工作频率范围内,按一定规律选择 I 个均分方位, N 个频率建立样本库。在样本库的建立过程中,可以将方位及频率步进尽可能最小化,但是样本采集得越精细,需要耗费的人力以及时间就越多,因此在实际采样时,选择了 72 个均分方

表 1 试验中所选取的 6 个插值点

d/m	1	20	40	60	80	100
L_0/dB	166.492 4	192.450 0	198.470 6	201.999 24	204.491 2	206.429 4

表 2 3 种不同插值算法的插值结果

频率/MHz	原始测试数据/dB	三次样条插值/dB	线性插值/dB	分段三次厄米特插值/dB
10	0.4	0.40	0.4	0.4
400	0.5	0.61	0.6	0.61
700	0.7	0.76	0.75	0.76
1 000	0.9	0.90	0.9	0.9
2 000	1.3	1.31	1.23	1.29
3 000	1.6	1.63	1.57	1.62
4 000	1.9	1.90	1.9	1.9
5 000	2.2	2.12	2.1	2.12
6 000	2.4	2.32	2.3	2.32
7 000	2.5	2.50	2.5	2.5
8 000	2.8	2.67	2.67	2.67
9 000	2.9	2.84	2.83	2.84
1 0000	3.0	3.00	3.00	3.00
11 000	3.1	3.16	3.17	3.17
12 000	3.3	3.33	3.33	3.33
13 000	3.5	3.50	3.50	3.50
14 000	3.6	3.67	3.67	3.67
15 000	3.8	3.83	3.83	3.84
16 000	4.0	4.00	4.00	4.00
17 000	4.2	4.16	4.13	4.15
18 000	4.3	4.29	4.27	4.29
19 000	4.4	4.40	4.40	4.40
20 000	4.4	4.45	4.47	4.47
21 000	4.5	4.50	4.53	4.52
22 000	4.6	4.60	4.60	4.60
23 000	4.8	4.77	4.8	4.77
24 000	5.0	5.00	5.00	5.00
25 000	5.3	5.22	5.2	5.2
26 000	5.4	5.40	5.40	5.40

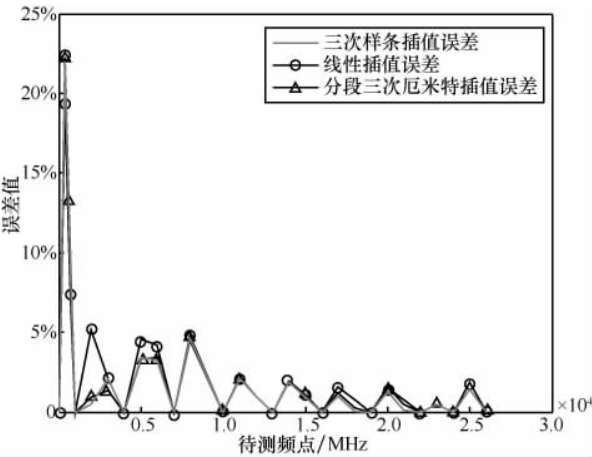


图 4 3 种插值算法的插值误差

位,即对每一个频点以 5°为步进提取原始样本,然后再对实际采样数据进行插值,从而获得每个频点处 360°全方位的样本数据。

在本次试验中,先采集了 360°全方位的样本数据,然后以 5°为步进选择插值点,并将插值得到的结果和原始数据进行对比。试验中采用的天线为 NSMI-CX0230 测向天线,接收机为 NSMI-JX03 双通道监测测向接收机,该接收机返回的样本为 7 维的相位差数据,在此选择第一维数据来进行 3 种插值方法的验证,图 5、图 6 分别给出了 3 种插值算法的插值结果及误差。

从上述结果中可以看出,3 种插值算法得到的结果均能满足实际需求,但在 0°~100°方位内,三次样条插值要明

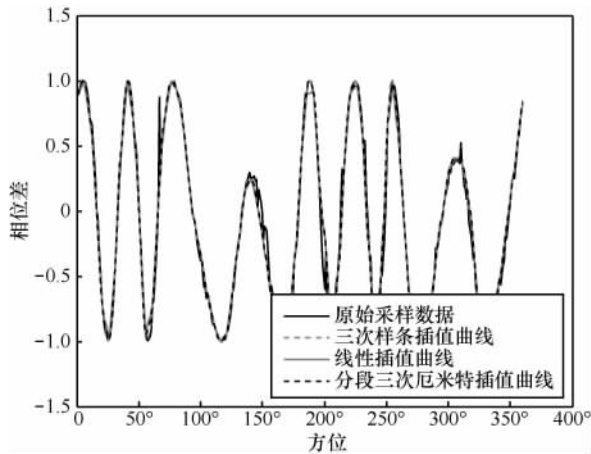


图5 3种不同插值算法插值结果

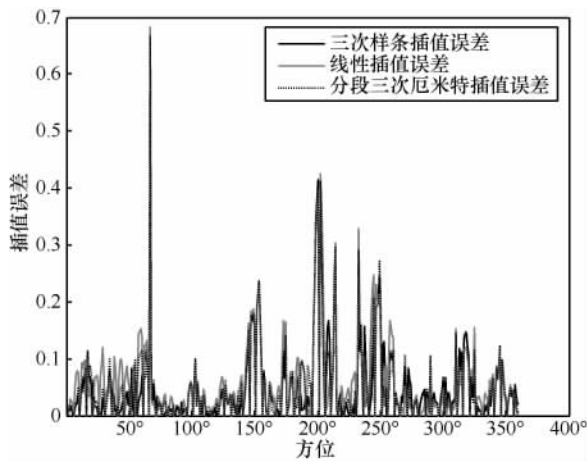


图6 3种插值算法插值误差

显优于另外两种插值算法,证实了三次样条插值算法的有效性。

4 结束语

本文通过对三次样条插值算法进行研究,将其应用至通信工程实践中,并通过 MATLAB 仿真实现了三次样条插值算法在自由空间损耗计算、馈线插入损耗估计、相关干涉测向3个典型场景下的应用,证实了该插值算法在通信工程应用中的有效性。

参考文献:

[1] 孙志忠,吴宏伟,袁慰平,等.计算方法与实习[M].南京:东

南大学出版社,2011.

SUN Z Z, WU H W, YUAN W P, et al. An elementary numerical analysis [M]. Nanjing: Southeast University Press, 2011.

[2] 陈岭,许晓龙,杨清,等.基于三次样条插值的无线信号强度衰减模型[J].浙江大学学报(工学版),2011(9):1521-1527.

CHEN L, XU X L, YANG Q, et al. Wireless signal strength propagation model base on cubic spline interpolation [J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2011 (9): 1521-1527.

[3] 李迪.三次样条插值在 WCDMA 移动终端校准中的应用[D].上海:上海交通大学,2009.

LI D. Cubic saline interpolation in of WCDMA mobile [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2009.

[4] 赵鸿图,刘云.基于三次样条插值的小波模极大值去噪算法[J].计算机工程与设计,2014(8):2965-2968.

ZHAO H T, LIU Y. Denoising algorithm of wavelet modulus maximum based on cubic spline interpolation [J]. Computer Engineering and Design, 2014(8): 2965-2968.

[5] 杨虎山.三次样条插值在实际问题中的应用和实现[J].忻州师范学院学报,2008,24(2):47-49.

YANG H S. The application and realization in a actual problem of cubic spline interpolation [J]. Journal of Xinzhou Teachers University, 2008, 24(2): 47-49.

[6] 金维刚,刘会金.基于三次样条插值时域采样重构的间谐波检测新算法[J].电网技术,2012,36(7):74-80.

JIN W G, LIU H J. A new algorithm for interharmonics measurement based on time domain sampling and reconstruction by cubic spline interpolation [J]. Power System Technology, 2012, 36(7): 74-80.

[7] 杨洁,王磊.电磁频谱管理技术[M].北京:清华大学出版社,2015.

YANG J, WANG L. Electromagnetic spectrum management technology [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2015.

[作者简介]



索昂代吉(1980-),女,青海省无线电管理办公室玉树管理处玉树无线电监测站站站长,主要研究方向为无线电频谱利用率、无线电监测技术与应用。