

· 光电工程系统技术 ·

基于 LOWTRAN 7 的红外大气透过率计算方法

孟凡斌, 郑 丽

(东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000)

摘 要:介绍了红外辐射在大气中传输时产生衰减的主要原因,对几种常用的红外大气传输计算方法及软件进行了简要说明,详细阐述了 LOWTRAN 7 软件的使用方法,输入输出文件格式.论述了对 LOWTRAN 7 进行嵌入式应用的重要性并提出了一种 LOWTRAN 7 的嵌入式应用方法,给出了相关的电路原理简图以及使用 Delphi 6 编写的子程序源代码.

关键词:红外辐射;大气透过率;LOWTRAN 7

中图分类号: TN219; TP311

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2009)03-0029-04

LOWTRAN 7-Based Calculation Method of IR Transmittance in the Atmosphere

MENG Fan-bin, ZHENG Li

(Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China)

Abstract: The main reasons of attenuation produced during the transmitting of infrared radiation in the atmosphere are introduced, and some usual methods for calculating the atmospheric transmission of infrared radiation and software are briefly shown. The method of using software LOWTRAN 7 and the in-out file formats are described. The importance of application-embedded LOWTRAN 7 is discussed and an application-embedded method of LOWTRAN 7 is put forward. The relevant circuit principle diagram and the subroutine source code programmed using Delphi 6 are given.

Key words: infrared radiation; atmosphere transmittance; LOWTRAN 7

大多数红外辐射测量系统必须通过地球大气才能观察到目标,所以从目标来的辐射功率在到达红外传感器前,会被大气中某些气体有选择地吸收,也会被大气中悬浮的微粒散射.根据分子物理学理论,大气中的主要吸收气体有水蒸气、二氧化碳、臭氧、甲烷、氧化氮、一氧化碳等.而使红外辐射产生散射的主要成分是气溶胶和云雨滴,它们包括云、雾、雨、冰晶、尘埃、碳粒子、烟、盐晶粒以及微小的有机生命体.吸收、散射虽然机理不同,其作用结果均使辐射功率在传输过程中发生了衰减^[1].

为了使红外辐射测量系统的输出反应真实的目标辐射特征,必须对实测得的值进行修正,以补偿被大气衰减掉的部分.所以,必须计算出红外线的大气透过率.

1 常用大气透过率计算方法和软件

大气传输的计算早期都用查表的方法.如水平观察路径的大气透过率可通过查海平面水平路程上主要吸收气体水蒸气、二氧化碳的光谱透过率表.由于二氧化碳成分变化不大,它的透过率可直接查表.水蒸气是大气的可变成分,它的吸收与气温、相对湿度有关,即与反映每千米可凝水量的绝对湿度有关.

查表法对大气传输模型做了大量简化,也未考虑散射,计算繁复,精度较差,已很少使用.目前,工程广泛利用现有的大气传输计算软件,常用的大气传输计算软件有:

(1) LOWTRAN (LOW resolution TRANsmi-

ssion)

LOWTRAN 是美国空军地球物理实验室开发的大气效应计算软件,用于计算低频谱分辨率(20 cm^{-1})系统给定大气路径的平均透过率和路程辐射亮度.目前最高版本为 1989 年发布的 LOWTRAN 7.

LOWTRAN 7 的主要优点是计算迅速,结构灵活多变,选择内容包括:大气中气体或分子的分布及大型的粒子.后者还包括大气气溶胶(灰尘、霾和烟雾)以及水汽(雾、云、雨).由于 LOWTRAN 中所用的近似分子谱带模型的限制,对 40 km 以上的大气区域,精度严重下降. LOWTRAN 主要作为工作于下层大气和地表面战术系统的辅助工具.

(2) MODTRAN (MODerate resolution TRANsmission)

MODTRAN 的目的在于改进 LOWTRAN 的光谱分辨率,它将光谱的半宽度由 LOWTRAN 的 20 cm^{-1} 减小到 2 cm^{-1} .

(3) FASCODE (FASt high resolution CODE)

FASCODE 适用于研究精确的单色波长和激光大气传输问题.

2 用 LOWTRAN 7 进行大气传输计算

前面介绍的 LOWTRAN 7 软件是一种低分辨率大气透过率的计算软件.它是在带基模型基础上引入严谨的经验数据进行计算的.其在整个波谱的分辨率大约为 20 cm^{-1} ,这对一般的红外系统应用已能满足要求,而且比较简单实用.

由于 LOWTRAN 7 主程序是一个 DOS 可执行文件,且其输入参数复杂繁多,不便于直接应用.虽然现在有很多与 LOWTRAN 7 进行接口的 WINDOWS 软件,它们将 LOWTRAN 7 的各个参数用可选菜单和文本框的形式进行了封装,用户可以很直观地输入各种参数,程序可以以图形和其他方式给出结果.但这些软件都是独立程序,很难进行集成应用,所以要想在专用的测试系统中自动实时计算出透过率值,必须对 LOWTRAN 7 的输入输出文件进行分析,以便在专用测试软件中直接调用计算结果.

2.1 实验室内的基本大气条件

一般来说,实验内的大气可近似认为是各处压强相等的清洁大气,清洁大气是指只含有水蒸气而

不含液态和固态杂质的大气.对于处在这样大气条件的红外辐射测试系统来说,被测目标的红外辐射只需考虑气体吸收所带来的衰减,而无气溶胶衰减.大气压力可认为是标准大气压.红外传输路径一般为水平路径,长度只有数十米量级.在近地大气中的各种吸收组分中,只有水蒸气的含量是可变的,其他成分含量是相对固定的.

以上即是实验室内的基本大气条件,计算大气透过率时,将根据以上条件对各种参数进行取值.

2.2 LOWTRAN 7 的数据输入格式

LOWTRAN 7 的数据输入文件是一个名为 tape5 的文本文件,其中包括 5 个数据卡片,有些卡片又包含若干子卡片^[2].下面详细介绍每个卡片的数据内容及其格式.

(1) 卡片 1

MODEL, ITYPE, IEMSCT, IMULT, M1, M2, M3, M4, M5, M6, MDEF, IM, NOPRT, TBOUND, SALB

MODEL 大气模型(0~7); ITYPE 路径形式; IEMSCT 程序运行模式; IMULT 散射模式; M1, M2, M3, M4, M5, M6, MDEF 这些参数用来修改或补充大气的密度、气压、温度的垂直廓线,水汽、臭氧、甲烷、一氧化碳等吸收组分的垂直廓线; IM 数据读入模式; NORPT 输出模式; TBOUND 地表温度(K); SALB 地表发射率.

(2) 卡片 2

IHAZE, ISEASN, IVULCN, ICSTL, ICLD, IVSA, VIS, WSS, WHH, RAINRT, GNDALT

IHAZE 衰减类型; ISEASN 季节性气溶胶分布; IVULCN 气溶胶分布和衰减类型; ICSTL 气团参数; ICLD 云模式; IVSA 边界气溶胶模式; VIS 气象视距; WSS 当前风速; WHH 24 h 平均风速; RAINRT 降雨速率; GNDALT 地面海拔高度(km).

卡片 2 有一系列的子卡片,需要输入数据的卡片有卡片 2C 和卡片 2C1.

(3) 卡片 2C

ML, IRD1, IRD, TITLE

ML 路径上的大气阶数; IRD1, IRD2 读取 CARD 2C2 和 CARD 2C3R 的标志位; TITLE 自定义的大气模式名称.

(4) 卡片 2C1

ZMDL, P, T, WMOL(1), WMOL(2), WMOL

(3),JCHAR

ZMDL 当前大气层的海拔高度(km);P 压力(ATM);MOL(1) 湿度(%);MOL(2) 二氧化碳浓度;MOL(3) 臭氧浓度;JCHAR 压强、温度水及蒸气的计量单位标识.

(5)卡片 3

H1,H2,ANGLE,RANGE,BETA,RO,LEN

H1,H2 初始高度(km)、终点高度(km);ANGLE 初始天顶角;RANGE 路径长度(km);BETA 地心角;RO 地球半径;LEN 程序操作模式;对于此行数据,当 ITYPE=1 时,程序仅读取 H1 和 RANGE.

(6)卡片 4

V1,V2,DV

V1 频率下限(cm^{-1}) 取 $V1 = 2\,000.000$;V2 频率上限(cm^{-1}) 取 $V2 = 3\,333.333$;DV 频率间隔(cm^{-1}) 取 $DV = 5.000$;

(7)卡片 5

IRPT FORMAT(I5)

程序运行停止标志,通常取 $IRPT = 1$.

结合实验室内的大气条件对以上参数进行取值,每个卡片数据为一行,共有 7 行参数数据,将其存入名为 tape5 的文本文件,内容如下:

```

7 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 293.000 0.50
0 0 0 1 0 0 0.000 0.000 0.000 0.000 0.200
1 0 0 MODEL1
0.000 1.000E+00 5.500E+01 9.000E+01 5.000E+01 0.000E+01BBH
0.000 0.000 0.000 0.030 0.000 0.000 0
2 000.000 3 333.333 5.000
0

```

2.3 LOWTRAN 7 的数据输出格式

把 tape5 文件放在 LOWTRAN.exe 所在目录,运行程序,可得到一个文件名为 tape6 的输出文件,

具有如下格式的内容,其包含了 3~5 μm 波段内,每个步长处各种组分的透过率,最后有总的平均透过率:

```

...LOWTRAN7...
O CARD 1 * * * * * 7 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 293.000
0.50
O CARD 2 * * * * * 0 0 0 1 0 0 0.000 0.000 0.000 0.000
0.200
O GNDALT= 0.20
O CARD 2C * * * * * 1 0 0abcdefghijklmnopqrst
MODEL ATMOSPHERE NO. 7ICLD= 0
MODEL 0/7 USER INPUT DATA
0.000 1.000E+00 5.500E+01 9.000E+01 5.000E+01 0.000E+00 BBH
.....
3 320. 3.012 0.546 1 0.595 2 0.999 3 1.000 0 1.000 0 1.000 0 0.918 1 1.000 0
1.000 0 1.000 0 0.000 0 354.012
3 325. 3.008 0.548 9 0.599 2 0.999 4 1.000 0 1.000 0 1.000 0 0.916 8 1.000 0
1.000 0 1.000 0 0.000 0 356.268
3 330. 3.003 0.583 5 0.637 8 0.999 4 1.000 0 1.000 0 1.000 0 0.915 4 1.000 0
1.000 0 1.000 0 0.000 0 357.309
OINTEGRATED ABSORPTION FROM 2000 TO 333 0  $\text{CM}^{-1}$ = 357.31  $\text{CM}^{-1}$ 
AVERAGE TRANSMITTANCE=0.731 3

```

tape 6 文件很长,以上只取了它的开头和结尾的一部分,但所关心的只是它最后部分的“AVER-

AGE TRANSMITTANCE = 0.731 3”，这个就是最终所要得到的平均透过率。

3 LOWTRAN 7 的集成应用

以上知道了 LOWTRAN 程序的输入输出格式，可以通过手工构建数据输入文件来计算大气透过率。显然，这种方法虽可行，但极不方便，每次计算都必须事先手工生成参数文件，输入复杂，易错，无法满足现代红外辐射测量系统中高实时性的工作要求，为此，设计一种能自动适应实验室内大气条件变化的，实时的，可方便嵌入到各种红外辐射测量系统的大气透过率计算方法势在必行。以下介绍一种实现方法。

3.1 基本原理

因为实验室内的 大气条件相对稳定，大多数大气参数恒定不变，变化较大的只有温度和湿度，所以温度和湿度参数必须是实时采集的，其他参数可固化到程序里。其原理如图 1 所示。

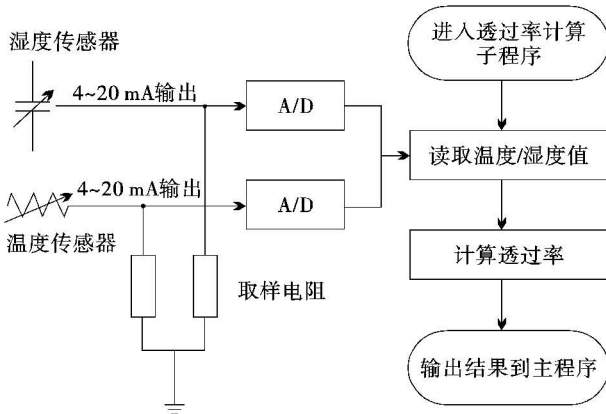


图 1 大气透过率计算原理框图

3.2 软件详细流程及核心代码

根据 LOWTRAN 7 软件的数据输入输出格式和它的工作方式，透过率计算子程序详细流程如图 2 所示。

在 Delphi 6 下实现以上流程的核心代码如下：

```
function Transcaqu(Hum,Temp:integer):integer;
var F1:textfile;
    temp:string;
begin
AssignFile(F1,'tape5');//关联 tape5 文件到 F1
Rewrite(F1);//重写 F1
/* 以下写入第 1~7 行参数 */
```

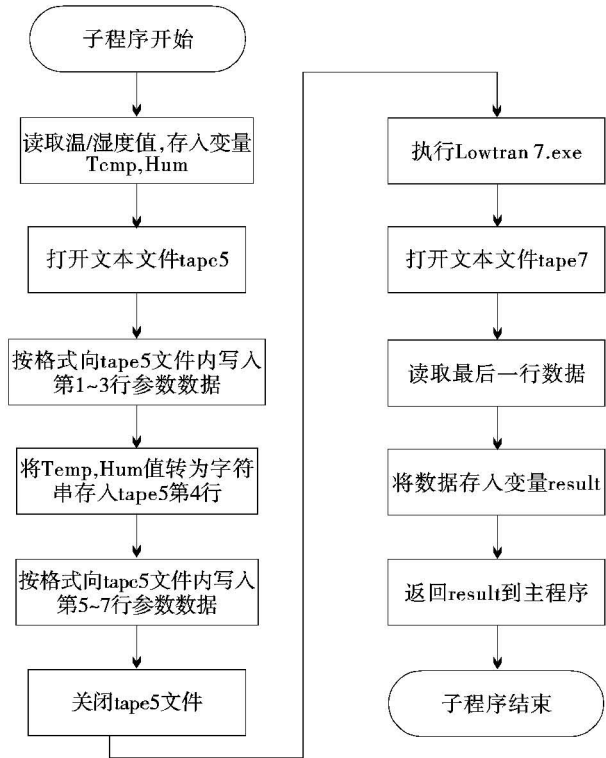


图 2 透过率计算子程序流程图

```
writeln(F1,'7 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 293.000 0.50');
writeln(F1,'0 0 0 1 0 0 0.000 0.000 0.000 0.000 0.200');
writeln(F1,'1 0 0 MODEL1');
writeln(F1,'1.000 000 1 013.250 000 ' + inttostr(Hum) +
'000 000' + ' 0.000 000 ' + inttostr(Temp) + '.000 000' +
'0.000 000 0.000 000 0.030 000');
writeln(F1,'0.000 0.000 0.000 0.030 0.000 0.000 0');
writeln(F1,'2 000.000 3 333.333 5.000');
writeln(F1,'0');
closefile(F1);//关闭 F1
winexec('lowtran7.EXE',SW_hide);//以隐藏方式执行 low-
tran7.exe
sleep(500);//等待 500 ms,确保 tape6 文件已生成
AssignFile(F1,'tape6');//关联 tape6 文件到 F1
Reset(F1);//重置 F1
while not Eof(F1) do//读取文件内容到直到末尾[3]
begin
    ReadLn(F1,temp);//将读到的值存入字符串变量 temp
end;
closefile(F1);//关闭 F1
Result:=strtoint(copy(temp,27,30));
//将 temp 的第 27 到第 30 位置的内容转换成整数返回给 re-
sult
end;
```

(下转第 66 页)

表 2 文本信息隐藏前、后图像特征相对误差

图 片	$F(\Delta T) = \Delta T / T_{\text{隐藏前}} $			
	$F(\Delta V)$	$F(\Delta 4; \text{RGB})$	$F(\Delta I)$	
风 景	Pict1	0.035	(0.185;0.142;0.195)	0.142
	Pict2	0.017	(0.192;0.165;0.202)	0.165
植 物	Pict3	0.002	(0.187;0.195;0.194)	0.182
	Pict4	0.067	(0.189;0.184;0.181)	0.180
动 物	Pict5	0.109	(0.075;0.072;0.069)	0.067
	Pict6	0.098	(0.191;0.194;0.194)	0.186
人 物	Pict7	0.087	(0.145;0.181;0.181)	0.144
	Pict8	0.031	(0.195;0.195;0.195)	0.195

范围内,从而不易发现图 5 这个有用信息,达到信息隐藏的目的,图 4 为原始图像经 DCT 变换后的能量分布图,经过对 DCT 变换的特征分析,选用了载体图像的特定区域,即 DCT 系数中高频部分 N 个最大的 DCT 系数作为待隐藏图像的 DCT 系数,减少了对原图像视觉的影响.实验表明,嵌入隐藏信息后的两幅图像在视觉上人眼无法分辨,算法具有良好的隐秘性和较强的鲁棒性,可以有效地抵抗随机噪声、位置变换、变形、剪切等操作.

4 结 束 语

目前所采用的变换域信息隐藏方法有多种,由于 DCT 变换是最常用的有损数字压缩系统 JPEG 的核心,采用这种方法不仅适用范围广,可以推广到视频压缩等领域,而且信息隐藏的鲁棒性较好.给出的这种方法简单易行,但效果欠佳,可以通过对图像

(上接第 32 页)

以上是用 Delphi 6 实现的透过率计算子程序,其代码短小,计算速度快,准确度高,可方便嵌入到各种实际应用的红外辐射测量系统中.

4 结 束 语

红外大气传输的计算是红外技术的一个重要的研究领域,由于大气环境的复杂多变,计算红外大气传输的理论算法也很繁琐.通过将 LOWTRAN 7 软件嵌入到面向对象的高级语言 Delphi 6 中,得到了

分块后,各子块分别采用 DCT 变换后再进行隐藏过程,并且在对完成效果要求较低的情况下还可对完成图像进行滤波,从而减少杂波噪声对图像的影响,这些方法在以后的实验中进行.

参 考 文 献

- [1] 汪小帆,戴跃伟,毛耀斌.信息隐藏技术方法与应用[M].北京:机械工业出版社,2001.
- [2] 徐常勇,平西建,张涛.视频信息伪装技术综述[J].计算机应用研究,2006:8-11.
- [3] 张立和,周继军,陈伟,等.透视信息隐藏[M].北京:国防工业出版社,2007.
- [4] Fabien A P Petitcolas, Rosa J Anderson, Markus G Kuhn. Information Hiding; A Storey[C]//Pmc. of the IEEE, 1999:1062-1078.
- [5] Po-Chyi Su, C-C Jay Kuo. Steganography in JPEG2000 Compressed Images [J]. IEEE Trans. on Consumer Electmnics, 2003, 49(4): 824-832.

一种简单方便的计算红外大气传输的方法,可直接应用于各种红外辐射测量系统.

参 考 文 献

- [1] 张建奇,方小平.红外物理[M].西安:西安电子科技大学出版社,2004.
- [2] Kneizys F X, Shettle E P, Abreu L W, et al. User guide to LOWTRAN 7[M]. Air Force Geophysics Laboratory, Hanscom, AFB, MA 01731, 1988.
- [3] 曹阳. Delphi 7 经典问题解析[M].北京:中国水利水电出版社,2003.