

文章编号: 1007-4619 (2004)05-0443-08

垄行作物玉米方向亮温野外测量中 视场角影响的简单分析

余涛¹, 顾行发², 田国良¹, Michel Legrand³, Jean-François Hanocq², Roland Bosseno²

(1. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 法国农业科学院, Avignon 84914, 法国; 3. 法国 Lille 大学, Lille 59665, 法国)

摘要: 基于透视原理、地面试验中对于较高目标的观测存在着一定的偏差。这种偏差随传感器高度、观测角度、视场角大小、观测位置等多个因素改变。由于垄行作物空间结构和温度分布的复杂性,在采用较大视场角测量方向亮温的地面实验中,将不可避免地存在着误差。采用一个简化的三分量二维结构模型对这种误差进行初步的分析与估算。亮温三分量分别为植被、被阳光照到的亮土和植被阴影下的暗土。作物的结构简化为剖面为矩形的无限长平行体。通过对这三个分量在传感器视场中面积权重的计算来模拟目标结构、传感器高度、位置、视场角大小、观测角度等因素对测量结果产生的影响。模拟结果表明,在垂直观测中,视场中的植被权重往往被高估,偏差随传感器高度的降低急剧增加。在倾斜观测中,由于一种互补效应的产生,偏差被限制在一个较低的范围。经过分析,减小误差的最有效办法是提高传感器高度。最后,实验数据与模拟结果进行了比较。恰当地选取模型输入,两种数据能非常好的吻合。

关键词: 近地表测量; 视场角效应; 垄行作物; 方向亮温

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 引言

作为农田地表长波辐射度量的一个特征参数,方向亮温(Directional brightness temperature 简称 DBT)已广泛地应用在地表能量平衡估算、植被生态指标反演以及遥感传感器定标分析等多个领域^[1-7]。野外地表测量一般被认为是地表参数的最佳测量方式。近年来,遥感界开展了大量基于三角架、弧形架等低高度支撑系统的野外地表观测,其结果往往用来订正星载和航空遥感数据。然而,这些设备仅适用于均匀地表目标,如小麦、草地等。当观测目标是玉米、棉花、向日葵等垄行作物时,由于作物空间结构和温度分布的复杂性,在地面实验中不得不采用较大视场角进行方向亮温的观测,从而带来测量误差^[8,9]。

理论上,传感器接收到的某一确定角度的辐射应来源于一小面元,其几何尺寸远小于传感器与小面元的距离,以保证方向信息的准确性。这样,所对应的传感器的视场角和目标的立体角将被限制在非常小

的范围内。另一方面,小面元的尺寸应保证有足够的大小,以代表目标的空间结构和波谱特征,并对面元形状和大小的变化不过分敏感。理想条件下,星载传感器的采样区具有足够的大小,同时相对于星地间距离,又可忽略不计,一般不存在视场角效应等问题。在实际地表观测中,Walthall等^[8]建议在获取均匀目标角度信息时应采用 2° — 3° 的视场角比较合适。

在针对垄行目标的野外测量中,大视场角观测已被广泛的采用。Kimes^[7,10]采用 15° 的视场角观测棉花的热红外辐射方向特性,Lagouarde等^[11]采用 35° 的视场角观测玉米的热红外辐射方向特性。根据他们的分析,大视场角的观测使得热红外方向信息在一定程度上被平滑掉并被歪曲了。一般地,使用大视场角观测存在以下3方面的问题,一是角度混杂,测量结果含多个角度信息;二是样区代表性受测量条件影响,视场内植被行数过少,很可能造成视场内目标组成比例不合理;三是由透视原理引起的干扰,由于传感器距离目标过近,致使目标本身高度不可忽略,上部植被在视场中被放大,而下部植被

收稿日期: 2003-07-29; 修订日期: 2003-10-28

基金项目: 法国农业科学院奖学金; 国家重点基础研究发展规划项目(G2000077902); 国家高技术研究发展计划项目(2002AA130010); 中国科学院知识创新工程领域前沿项目资助(CX020011)。

作者简介: 余涛(1967—),男,研究员,毕业于法国Lille大学大气光学实验室,获博士学位,现主要从事遥感机理研究工作。

在视场中的比例呈现出复杂变化, 植被组分的各个部分在视场中的权重也存在偏差。

到目前为止, 很少有系统地描述地表测量中视场角效应对测量结果的影响, 并给出比较理想的采样方法。本文的目的是给出一个简化的空间结构模拟模型, 初步对大视场角地表观测的几何问题进行分析, 对测量中由该原因产生的偏差作出判断, 并给出相应的合理化建议。

2 模型描述

2.1 方向亮温的设定和简化的农田亮温、空间结构

作为一种典型的垄行结构的农作物, 玉米作为本研究的观测目标。在分析其热红外辐射方向测量中, 设定作物具有 3 个温度组成, 分别为植被、被阳光照到的亮土和植被阴影下的暗土, 每一个组成有一个确定的亮度温度值, 组分内的温度偏差和分布不予考虑。大量的野外测量结果支持这种亮温分类方法, Lagouarde^[11], Kustas^[12] 等人发现玉米叶片的温度分布与太阳光照的关系不大。相对于土壤温度的变化, 作物可被看作是一个温度组成。在我们的测量中也证明了三分量分类方法在一定条件下的合理性。这样, 农田方向亮温的简化计算公式如下^[12]:

$$T_b^4 = T_v^4 C_v + T_{se}^4 C_{se} + T_{so}^4 C_{so} \quad (1)$$

式中, T_b 是作物的方向亮温; T_v, T_{so}, T_{se} 分别是植被、暗土和亮土的组分亮温; C_v, C_{so}, C_{se} 分别是植被、暗土和亮土在传感器视场中的面积权重。观测中这 3 个参数数值随目标结构、传感器高度、位置、视场角大小、观测角度等因素变化, 可以用来反映这些因素对测量结果产生的影响。

垄行作物的结构采用 Jackson 等^[3] 和 Kimes^[7] 的描述, 植被行被简化为无限长的具有矩形截面的实

芯结构, 光线不可穿透, 其底部紧贴地面。

图 1 显示了垂直于作物垄向的剖面示意图。其中, H_c 是传感器的高度; b 和 a 分别是矩形的高度和宽度; L 是垄行距离; α_s 和 α_v 分别是太阳和观测方向在剖面上的投影角度。由于植被的对称结构, α_s 的范围定义在 $0^\circ - 90^\circ$ 之间, α_v 定义在 $-90^\circ - 90^\circ$ 。当 $\alpha_v > 0$, 传感器和太阳在植被行的同一边, 当 $\alpha_v < 0$, 传感器和太阳各在植被行的一边。投影角度 α 可以通过如下公式计算出来:

$$\tan \alpha = \tan \gamma \sin \varphi \quad (2)$$

式中 γ 和 φ 是决定太阳和传感器位置的天顶角和方位角。剖面中植被在地面的阴影长度 $c = b \tan \alpha_s$ 。本图中传感器视场覆盖了 3 行植被 ($3L$), 所对应的视场角为 θ_v 。当 $\alpha_v \neq 0$ 时, θ_v 可表示为:

$$\theta_v = a \operatorname{tg} \left[\frac{-\frac{H_c(1+\operatorname{tg}^2 \alpha_v)}{kL} + \sqrt{\left(\frac{H_c(1+\operatorname{tg}^2 \alpha_v)}{kL}\right)^2 + \operatorname{tg}^2 \alpha_v}}{\operatorname{tg}^2 \alpha_v} \right] \quad (3)$$

其中, k 是视场中垄行距的整数倍。

如果 $\alpha_v = 0$, 即垂直观测, 则

$$\theta_v = 2a \operatorname{tg} \left[\frac{kL}{2H_c} \right] \quad (4)$$

在本模型中, 采用的传感器的光学系统按线性比例变化, 而不是角比例变化, 即目标形状按等比例投影在传感器焦平面上, 不发生任何扭曲与变形。由于目标的周期性结构, 我们将只考虑传感器在垂直垄向上一个垄行距内运动时造成的组分权重的变化。研究中只考虑视场包含整倍数行距的情况, 即视场的大小只能是垄行距的整数倍, 即 $1L, 2L, 3L$ 等。分析中, 太阳和传感器将处于垂直垄向的平面上。根据 Jackson 等^[3]、Kimes^[7] 等人的研究, 其他方向的变化可以由这种情况推导出来。

2.2 组分权重的计算

通过这个二维简化结构模型, 传感器视场内亮温组分的权重的变化可以由各组分在地表投影线的长度确定。计算中, 将视场按照视场内垄行距的倍数分成若干子观测。

如图 2, 一个 3 行的视场被分为 3 个子观测, 每个子观测的视场为 1 个行距。图中, 传感器的位置为 $x=0$ 。随传感器向前移动, 可以得到不同位置下亮温组分的权重值。当传感器在位置 x 时, 第 i 个组分的权重为:

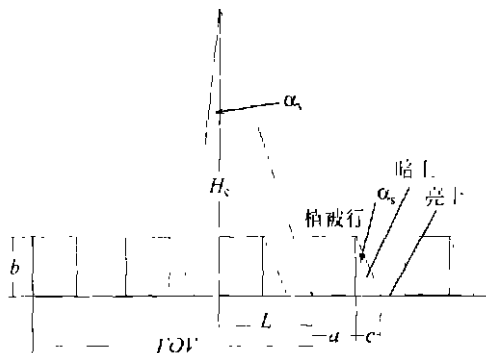


图 1 垂直垄行作物垄向的剖面示意图

Fig 1 Abstraction of row crop model and

geometry of the measurement

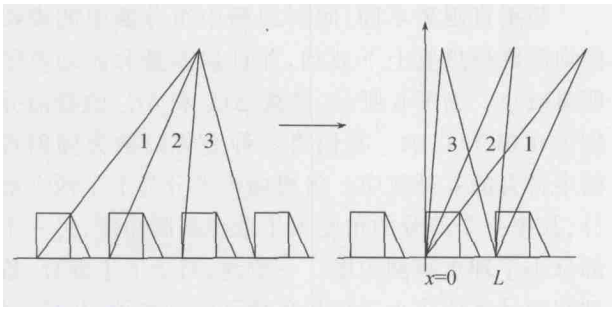


图 2 视场分解示意图

Fig. 2 Schema of coordinate system and the split of FOV to several sub views

$$C_{i,x} = \frac{\sum_{s=1}^k l_{i,s,x}}{kL} = \frac{1}{k} \sum_{s=1}^k \frac{l_{i,s,x}}{L} \quad (5)$$

式中 i 代表组分植被、暗土或亮土; $l_{i,s,x}$ 是第 s 个子观测中, 组分 i 在地面的投影长度; k 是视场内植被行个数; 传感器运动距离 $x \in [0, L]$ 。

3 模拟结果及讨论

3.1 垂直观测中的视场角效应

图 3 显示垂直观测时, 传感器在不同位置时视场角效应产生的偏差分布。其中, C_v , C_{se} , C_{so} 分别为模拟的植被、亮土和暗土的权重; C_{vidl} , C_{seidl} , C_{soidl} 分别为理想观测条件下植被、亮土和暗土的权重。模型输入各项参数值见表 1。

表 1 目标几何结构、太阳和传感器参数

Table 1 Canopy geometry and sun-view geometry for the simulation

H_c	$\alpha_v / (^\circ)$	k	$\theta_v / (^\circ)$	a
10	0	5	28.1	0.3
B	c	C_{vidl}	C_{seidl}	C_{soidl}
0.6	0.2	0.3	0.5	0.2

表 1 中, 行距 L 的数被定义为单位值 1, 其他的参数为其与 L 的比值。如传感器高度 H_c 是 $10L$, 则 H_c 的值为 10。各组分面积权重以小数形式表现, 总和为 1。

从图 3 中可以看出, 与各组分理想值相比, 无论传感器在何位置, 植被权重一直被过高估算, 而土壤比例被低估。植被值最高高过理想值 0.1, 约理想值的 1/3。随着传感器位置的移动, C_v 上下波动, 波动范围约为 0.03。这将使实际观测中不同的传

感器位置选择产生不同的 C_v 值。本研究中我们定义模拟结果的平均值与理想中的偏差为 ΔC_v , 模拟值的波动范围为 δC_v , 以此两个参数作为视场角效应的评价指标:

$$\Delta C_v = C_{vmean} - C_{vidl} \quad (6)$$

$$\delta C_v = C_{vmax} - C_{vmin} \quad (7)$$

式中, C_{vmean} , C_{vmax} 和 C_{vmin} 分别是模拟 C_v 的平均值、最大值和最小值。

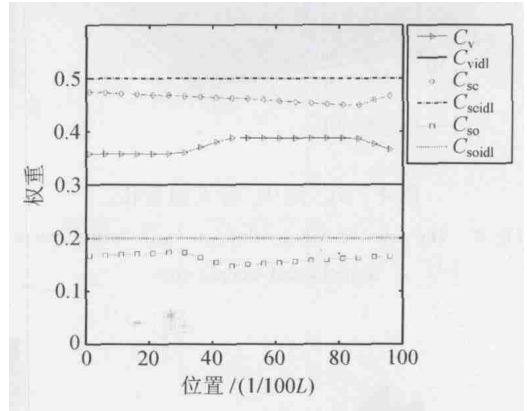


图 3 传感器在不同位置时各组分权重变化图

Fig. 3 The fractions error varies with detect position for the nadir view

为了研究传感器高度和视场大小对植被在视场中权重变化的影响, 我们开展了更多的计算模拟。图 4 显示了 ΔC_v 随传感器高度 H_c 和视场中垄行个数 k 的变化。其中, H_c 的数值变化为从 5—30, k 的数值变化为从 1—8, 目标的结构参数不变, 与表 1 中所列相同。当传感器在垄行距 30 倍高度观测 1 倍垄行距大小的样区时, 视场角达到其最小值, 约为 2° ; 传感器在垄行距 5 倍高度观测一个 8 倍垄行距大小的样区时, 视场角将达到 77° 。

植被在视场中的权重偏差 (Fraction error) 随 H_c 与 k 的组合有很大的变化。最小值为 0.01, 对应于最小的视场角; 最大值达到 0.24, 对应于视场角的最大值。总之, 视场中的植被覆盖偏差随 H_c 的减小与 k 的增大而增加。此外, 从图 4 可以看出, H_c 和 k 对 ΔC_v 的影响程度不同。对于同样大小的视场区域, 随着传感器高度的降低, ΔC_v 快速增长, 呈曲线上扬趋势, 传感器高度对 ΔC_v 的影响显得更加显著。

图 5 表现的是模拟值的波动 δC_v 随 H_c 与 k 的变化特征。可以看出, 大的视场产生较小的波动。若传感器的位置较低, 大视场也能带来较大的波动; 若传感器的位置较高 (如 $30L$), 即使视场的有限增加, 对 δC_v 的影响也不大。

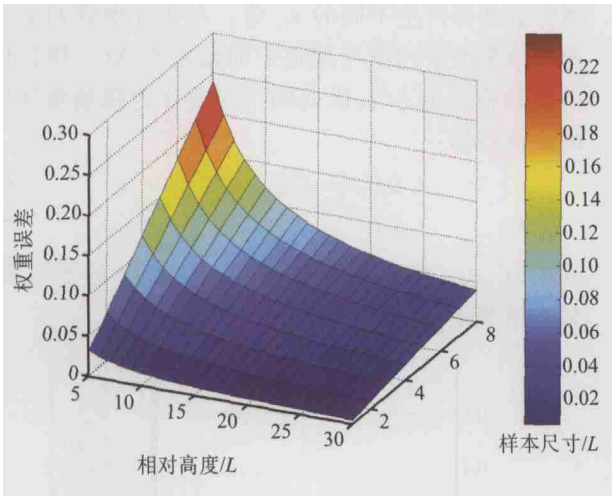


图 4 ΔC_v 随 H_c 与 k 的变化

Fig 4 The error of canopy fraction varies with camera altitude and sample size

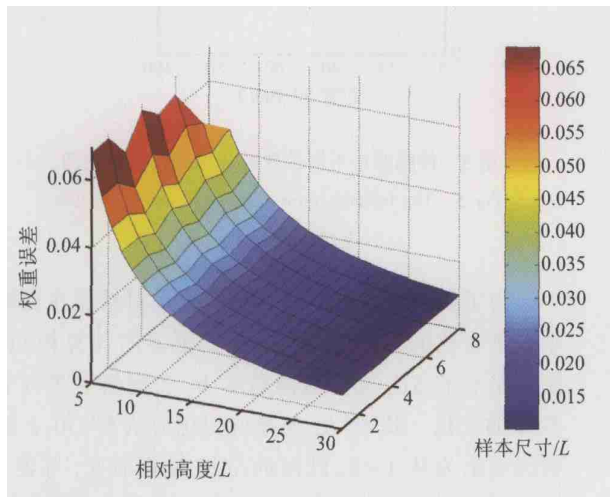


图 5 模拟值的波动 δC_v 随 H_c 与 k 的变化特征

Fig 5 The fluctuation of vegetation fraction varies with the altitude of camera and the size of sampling area

3.2 倾斜观测中的视场角效应

图 6 为传感器在不同位置时,顺着太阳方向,即 $\alpha_v > 0$ (a) 和背着太阳方向,即 $\alpha_v < 0$ (b) 时视场角效应产生的偏差分布。两种情况下传感器倾角均为 15° 。模型输入各项参数值见表 2。

表 2 目标几何结构、太阳和传感器参数

Table 2 Canopy geometry and sun-view geometry for the simulation

$\alpha_v / (^\circ)$	H_c	k	$\theta_v / (^\circ)$	a	b	c	C_{vidl}	$C_{e:il}$	$C_{so:il}$
15	10	5	26.2	0.3	0.6	0.2	0.46	0.5	0.04
-15	10	5	26.2	0.3	0.6	0.2	0.46	0.34	0.2

与垂直观测不同,倾斜观测中组分圈中的模拟值均围绕理想值上下波动,并且偏差量和波动范围明显减小。如图 6 所示,植被 ΔC_v 和 δC_v 的数值分别为 0.01 和 0.04。我们将这种变化归纳为倾斜观测中特有的互补效应。将视场角平分为上下两个部分,其中一个部分的角度大于理想观测角度,另一个部分小于理想观测角度。一般地,对于上半部分,植被权重计算值将大于理想条件下的观测值;相反,对于下半部分,植被权重计算值将小于理想条件下的观测值。这两个部分的值随传感器位置改变,所以它们的和呈互补状态的同时,值随传感器位置沿理想值波动,产生较低的偏差。

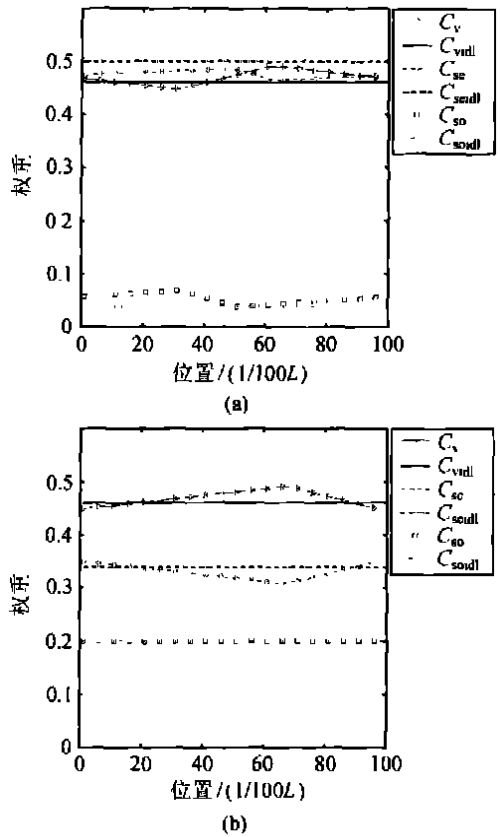


图 6 倾斜 15° 的观测偏差

(a) 顺着太阳方向 $\Delta C_v > 0$; (b) 背着太阳方向 $\Delta C_v < 0$

Fig 6 Off nadir view with a zenith angle of 15° in two directions (a) along the sun; (b) opposite to the sun

为了找到观测角度对植被权重测量影响的趋势变化, 计算模拟中改变观测角度和视场面积, 如图 7。观测角度的变化范围为 $0^{\circ}-40^{\circ}$, 视场尺寸为 $1L-10L$, 但传感器的高度始终保持不变 ($H_c = 10L$), 观测目标的几何参数和太阳位置如表 2 所示。

在图 7 中, 互补效应表现的非常明显, 当观测角度不等于 0 时, ΔC_v 始终处于低值范围。当倾角为 5° 时, $1L$ 和 $3L$ 大小的视场产生基本相同的偏差。当倾角为 15° 时, $6L$ 大小的视场产生的偏差只比 $1L$ 的视场的大 0.003。

从图 7 可以发现, 相对于每一个倾斜观测角度, 若同时考虑偏差与波动的影响, 存在一个最佳观测视场尺寸。本例中, 倾角为 5° 时, 为 $3L$; 15° 时, 为 $6L$ 。

模型中模拟的角度范围为 $0^{\circ}-40^{\circ}$ 的原因是对本简化模型, 若测量倾角持续增加, 则只有植被在视场中, 各项偏差均为 0, 所以 40° 以上角度未在分析中考虑。

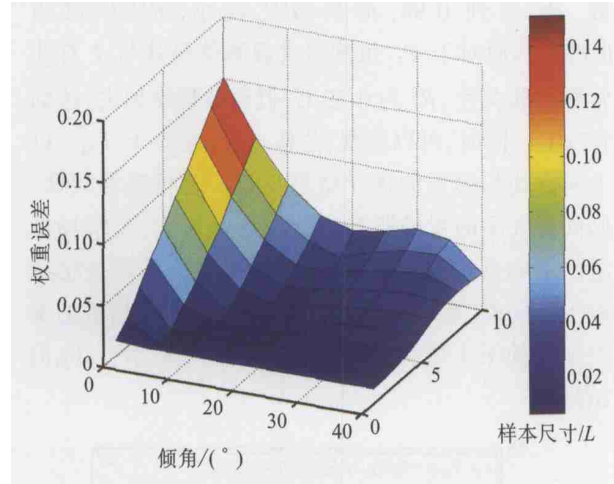


图 7 ΔC_v 随观测角和视场大小变化图

Fig. 7 The vegetation fraction errors versus view zenith and sample size

图 8 为视场内植被权重偏差的波动 δC_v 随观测角度和视场大小的变化。总体上看没有一个固定的趋势, 但在不同区域可以发现一些变化特征。垂直观测时, δC_v 随视场变化很小; 但对倾斜观测, δC_v 随视场尺寸的加大而变小, 随观测角增加而迅速加大, 达到最大值后随角度进一步增加而减小或保持不变。在这个例子中, 当观测角 0° 变到 5° 时, δC_v 从 0.03 迅速增加到其最大值 0.06。

由于本研究中模型化的植株行是不透明的, 这必然在模拟中带来误差, 需在以后进一步细化模型

中加以考虑。对于亮土和暗土在视场中的权重变化, 通过模型模拟, 发现有更丰富的变化特征, 由于篇幅所限, 在这里不一一介绍。

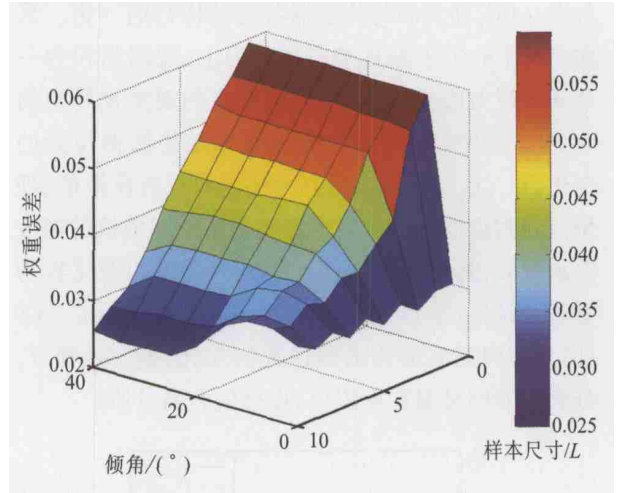


图 8 视场内植被权重偏差的波动 δC_v 随观测角度和视场大小的变化

Fig. 8 The range of vegetation fraction errors (δC_v) versus view zenith and sample size

4 模型验证

1999 年 6 月, 在法国南部城市 Avignon 进行了一次野外试验用于模型的验证。实验中采用了一套遥感近地表观测系统, 主要包括了一架臂高约 20m 的工业用吊车和大视场角热红外成像仪^[13]。玉米是按南北垄向种植的, 行距 L 为 0.8m, 植株密度为 9.32 株/ m^2 。

为了估算传感器位置对亮温组分权重和方向亮温测量值的影响, 我们在实测数据的基础上, 优化模型参数, 对低位置观测进行了模拟。野外温度测量和目标几何结构测量时间为当地下午 13:15, 测量日期 1999-06-24。当时的太阳天顶角为 21° , 方位角为 202° (坐标以北为 0° , 顺时针旋转, 正东为 90° , 正南为 180° , 正西为 270°)。这样太阳在垂直垄行方向的剖面上的倾角 α_s 为 8.2° 。观测目标玉米的叶面积指数 (LAI) 为 1.73, 平均株高为 0.8m, 平均株宽为 0.55m, 从根部测量的阴影长度约为 0.3m。测量时, 热像仪距地面 2.8m。植被、亮土和暗土的组分亮温的平均值分别为 $27^{\circ}C$, $44^{\circ}C$ 和 $30^{\circ}C$ 。作为模型的输入, 组分亮温以测量值代入, 作物几何结构中, 植株行剖面矩形高度 b 设定为 0.8m, 宽 a 为 0.35m, 阴影长度 c 为 0.12m。植株行矩形宽度小于平均株宽

的原因是考虑到植株中孔隙的影响。

图 9 为传感器位置对亮温组分权重和方向亮温测量值影响的测量与模拟比较。测量与模拟的观测角为 -15° ，即太阳与传感器各处植株行的一边。采样点的中心位于垂直垄向的剖面上，观测面积为一个垄行距为边长的正方形，所对应的观测视场角约为 15° 。其中，图 9(a) 为亮土权重随传感器位置的变化， C_{se} 、 C_{seidl} 和 C_{sem} 分别为亮土权重的模拟值、理想值和测量值。由于亮土温度与暗土和植被的温度差别较大，其权重的变化引起方向亮温的变化较为显著，所以这里以亮土的权重变化作为显示。图 9(b) 为方向亮温随传感器位置的变化， T_s 、 T_{idl} 和 T_m 分别为方向亮温的模拟值、理想值和测量值。

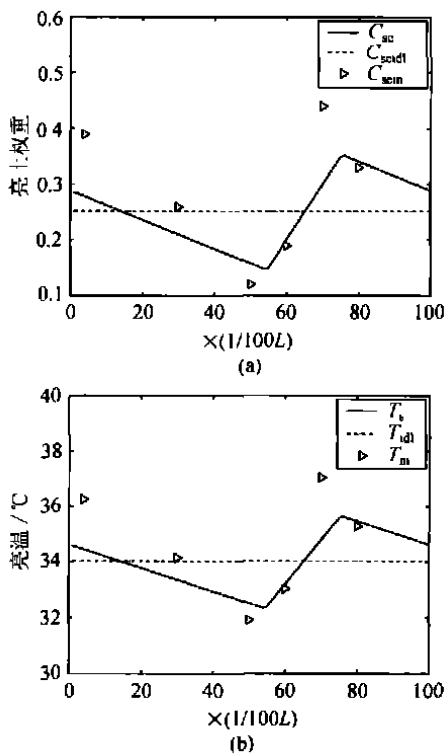


图 9 传感器位置对亮温组分权重 (a) 和方向亮温 (b) 测量值影响的测量与模拟比较

Fig. 9 Comparison of predicted (line) and measured (triangle) sunlit soil fraction (a) and field brightness temperatures (b) as a function of camera's position

图 9(a) 中，当热像仪运动到一半行距时，亮土权重达到最低，然后，随热像仪的继续移动迅速增加，形成波浪形式，最大差值达到了 0.3。观察模拟结果，具有基本相同的变化趋势，并且在数值上基本相符合，模拟结果的最大差值达到了 0.2。从模拟中可以发现，当热像仪运动距离小于一半行距时，亮土被植物所遮蔽，同时视场的前部进入下一行植被

中，亮土权重逐渐下降。但当热像仪继续运动，本行植被被全部移出视场后，两植被行间亮土全部进入视野，亮土权重迅速增加到最大值。由于视场内的亮温组分权重随热像仪位置改变，导致了方向亮温值的变化。本例中，亮温实测值和模拟值的变化幅度分别达到了 4°C 和 3°C (图 9(b))，它们的变化趋势非常吻合。

图 10 为不同时期热像仪在 20m 和 2.8m 处垂直向下获得方向亮温的比较。数据获取日期从 6 月 4 日到 8 月 6 日，这两个高度观测的视场为同一区域，但观测视场的位置是任选的。观测面积为一个垄行距为边长的正方形，当传感器在 20m 和 2.8m 时，所对应的视场角分别为 2.3° 和 16° 。这两个高度观测的时间间隔约 3min。图中， T_{20} 、 T_2 为热像仪在 20m 和 2.8m 处获得的方向亮温值，标准值 T 为采用公式(1) 计算的方向亮温值，其各项输入为固定视场(一个垄行距为边长的正方形)上的观测值。

从图 10 可以看出， T_{20} 和 T 有非常好的相关系数， R^2 达到 0.96，而离散比较小， $RMSE$ 仅为 0.83°C 。而对于 T_2 ，虽然多次观测使得其与 T 有非常好的相关性， R^2 为 0.82°C ，但离散程度加大，达到 1.71°C 。同时，可以发现，总体上 T_2 略小于 T_{20} 。以上两点均与模型的推导结果相近。若传感器较低，则同样大小的视场所对应的视场角较大，受视场位置的影响也就较大，不同位置测得值的偏差也就较大。同时，视场中植被的权重被放大，而植被的温度往往低于土壤的温度，这就造成 T_2 略小于 T_{20} 的结果。

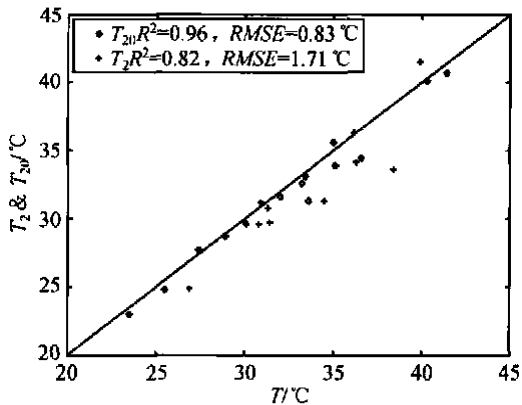


图 10 T_{20} 和 T_2 离散程度比较

Fig. 10 T_{20} and T_2 of different measuring date and time as a function of T

从以上的分析可以看出，地面实验中将传感器

放在较低的高度所产生的直接后果是测量结果不稳定, 并且偏差较大。在方向亮温的实际观测中, 若非必须获得垂直测量值, 可以采取小角度测量加以内插计算的方法得到。对于倾斜观测, 虽然有互补效应的作用, 当传感器高度较低时, 误差也需加以考虑。可以利用本模型建立对应不同情况的查找表, 进行快速查询。同时, 也要注意目标结构、观测位置关系等空间因素仅仅是测量中需注意的一个方面, 作物长势情况和测量周期的长短带来的时间效应也需在测量方案制定中加以考虑。若作物长势不均, 则必须通过扩大样区面积的办法来弥补。而过长的观测将导致视场内温度结构的变化。所以, 垄行作物地面实验应在减小视场角、加大样区面积、缩短观测周期中寻求平衡。如何定量地描述环境因素和时空变化导致的地面测量偏差是我们下一步研究的方向。

5 结 论

本研究采用一简化的三分量二维结构模型对地面实验中采用较大视场角观测方向亮温的误差进行分析和估算。亮温三分量分别为植被、被阳光照到的亮土和植被阴影下的暗土。通过对这三个分量在传感器视场中面积权重的计算来模拟目标结构、传感器高度、位置、视场角大小、观测角度等因素对测量结果产生的影响。

尽管本模型经过了大量的简化, 模拟结果显示出了地表及近地表观测所存在的系统误差。研究结果表明, 在垂直观测中, 植被比重总是被高估, 偏差随传感器高度的降低急剧增加。在倾斜观测中, 由于一种互补效应的产生, 偏差总是被限制在一个较低的范围。不过, 减小误差的最有效办法是提高传感器高度。在地面实验测量中, 随着传感器高度的增加, 相同大小视场所对应的视场角迅速减小, 所带来的不良因素的影响也迅速降低。

最后, 实验数据对模拟结果进行了验证。恰当地选取模型输入, 两种数据具有非常好的吻合程度。但是同时, 我们也发现由于大量的简化处理, 模型的模拟结果与实际测量还是存在一些差距, 特别是对植被中孔隙率问题的省略, 使模型的输入与实测数据脱钩。这些问题均将在以后的研究中加以改进与

完善。

参 考 文 献 (References)

- [1] Friedl M A Modeling Land Surface Fluxes Using a Sparse Canopy Model and Radiometric Temperature Measurements. [J] *Journal of Geophysics Research*, 1985, **100** (D12): 25435—25446.
- [2] Jackson R D, Reginato R J, Pinter P J J, *et al.* Plant Canopy Information Extraction from Composite Scene Reflectance of Row Crops [J]. *Applied Optics*, 1979, **18**: 3775—3782.
- [3] Weiss M, Baret F, Leroy M, *et al.* Hemispherical Reflectance and Albedo Estimation from the Accumulation of Across-track Synchronous Satellite Data [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1999, **104** (D18): 22221—22232.
- [4] Vining R C, Blad B L. Estimation of Sensible Heat Flux from Remotely Sensed Canopy Temperatures [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1992, **97** (D17): 18951—18954.
- [5] Moran M S, Clarke T R, Inoue, Y, *et al.* Estimating Crop Water Deficit Using the Relationship Between Surface-air Temperature and Spectral Vegetation Index [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1994, **49**: 246—263.
- [6] Norman J M, Divakarula M, Goel N S. Algorithms for Extracting Information from Remote Thermal-IR Observations of the Earth's Surface [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1995, **51**: 157—168.
- [7] Kimes D S. Remote Sensing of Row Crop Structure and Component Temperatures Using Directional Radiometric Temperatures and Inversion Technique [J], *Remote Sensing of Environment*, 1983, **13**: 33—55.
- [8] Walthall C, Roujean J L, Morisette J. Field and Landscape BRDF Optical Wavelength Measurements: Experience, Techniques and the Future [J], *Remote Sensing Review*, 2000, **18**: 503—531.
- [9] Sandmeier S R, Acquisition of Bidirectional Reflectance Factor Data with Field Goniometers [J], *Remote Sensing of Environment*, 2000, **73**: 247—269.
- [10] Kimes D S, Kirchner J A. Directional Radiometric Measurements of Row-crop Temperatures [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1983, **4**: 299—311.
- [11] Lagouarde J P, Kerr Y H, Brunet Y. An Experimental Study of Angular Effects on Surface Temperature for Various Plant Canopies and Bare Soils [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1995, **77**: 167—190.
- [12] Kustas W P. Ground and Aircraft Infrared Observations over a Partially-vegetated area [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1990, **11**, 409—427.
- [13] Lagouarde L P, Ballans H, Moreau P. *et al.* Experimental Study of Brightness Surface Temperature Angular Variations of Maritime Pine (*Pinus Pinaster*) stands [J], *Remote Sensing of Environment*, 2000, **72**: 17—34.

Analyzing the Errors Caused by FOV Effect on the Ground Observations of Directional Brightness Temperature over a Row Structured Canopy

YU Tao¹, GU Xing-fa², TIAN Guo-liang¹, Michel Legrand³, Jean-François Hanocq², Roland Bosseno²

(1. LARSIS, Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China;

2. INRA-CSE, 84914, Avignon, France;

3. Laboratoire d'Optique Atmosphérique, Université des Sciences et Technologies de Lille, 59655, Villeneuve d'Ascq, France)

Abstract: Composite scene of row crops induced an unavoidable error in ground observations due to the use of wide field of view (*FOV*) in the measurements. The measurements vary with sample size and position, detector height and view direction, and bias due to project principle, which is called *FOV* effect. This study focused on the estimation of *FOV* effect on the measurements of maize canopy directional brightness temperature (DBT) using a computational geometric 2D model. The model was developed to simulate the fractional variations of canopy brightness temperature components. In this research, the maize canopy was classified into three brightness temperature components: sunlit soil, shaded soil and vegetation, each component has a unique brightness temperature value. The simulation results revealed that the errors caused by wide *FOV* have complex features due to canopy geometry and measurement geometry. Generally, vegetation fraction is always over counted in the nadir, errors increase dramatically with the decrease of detector height as well as the enlargement of sample size, and the deviation of the error corresponding to sample position is small. In oblique view, the errors are limited to a low level due to the compensation effect. The best approach to reduce this kind of error is to set the detector to a higher altitude as the model suggested.

Key words: ground measurement; *FOV* effect; maize canopy; directional brightness temperature