

基于 Levenberg - Marquardt 算法的杨树枝干建模*

胡春华¹ 李萍萍² 朱咏莉²

(1. 南京林业大学信息科学技术学院, 南京 210037; 2. 南京林业大学森林资源与环境学院, 南京 210037)

摘要: 采用改进的 Levenberg - Marquardt 算法对杨树枝干模型进行参数拟合。为实现杨树动态三维可视化, 采用实地测量法获得不同林龄杨树胸径, 根据杨树胸径随林龄生长变化趋势选择胸径生长模型函数, 采用改进的 Levenberg - Marquardt 算法对其进行参数拟合。采用图像处理方法获得不同枝与主干之间的关系, 根据趋势曲线选择主枝随轮枝深度变化的关系函数, 利用类心形曲线方程建立主枝长度与轮枝深度之间的关系, 采用改进的 Levenberg - Marquardt 算法进行拟合。经实验数据分析, 拟合算法与数学模型能较好地对杨树枝干生长进行模拟, 并利用 OpenGL 软件将动态模拟方程进行三维可视化, 可视化效果图能真实地反映杨树生长过程。

关键词: 杨树 Levenberg - Marquardt 算法 三维可视化建模

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)10-0272-05

引言

基于生长模型的树木三维可视化模拟技术在林业信息化建设中发挥着重要的作用^[1]。树木三维可视化已有较成熟的软件, 根据实测树木的形态结构参数能构造出较逼真的树木, 或者模拟植物生长, 但是缺乏具体某种树木的生长模型。目前树木三维可视化主要有基于几何结构参数^[2-3]、基于形态学^[4-5]以及基于图像的可视化法^[6-8]。树木不仅具有复杂的形态结构特征, 而且具有复杂的生理过程。随着计算机技术、图形图像学技术等的发展, 结合树木生长模型与形态结构实现树木三维可视化对林业信息建设具有重要的作用^[9-12]。

本文在已有杨树树高生长模型^[13]的基础上建立杨树的胸径模型、冠幅的主枝模型。采用实地测量与图像处理相结合的方法获得原始建模数据, 利用改进的 Levenberg - Marquardt 算法^[14]对杨树枝干模型参数进行估计, 并用 VC++ 与 OpenGL 图像库实现随林龄生长的杨树三维可视化。

1 Levenberg - Marquardt 算法

Levenberg - Marquardt 算法^[15-17]是对高斯-牛顿法的一种修正, 是高斯-牛顿法和最速下降法的结合, 具有高斯-牛顿法的局部收敛性和梯度下降法的全局特性。它通过自适应调整阻尼因子来达到收敛

特性, 具有更高的迭代收敛速度。在很多非线性优化问题中得到了稳定可靠解^[18]。

对于非线性方程

$$F(x) = 0 \tag{1}$$

其中 $F(x): \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^m$ 是连续可微的, $F'(x)$ 连续可微。对于目标函数

$$\min_{x \in \mathbf{R}^n} \frac{1}{2} \|F(x)\|^2 \tag{2}$$

经典的高斯-牛顿迭代计算, 有

$$d_k^{GN} = - (J_k^T J_k)^{-1} J_k^T F(x_k) \tag{3}$$

$$x_{k+1} = x_k + d_k^{GN} \tag{4}$$

式中 J_k ——雅可比矩阵

经典的高斯-牛顿法对大多最小二乘问题是全局收敛的, 但是收敛较慢。当 $J_k^T J_k$ 奇异时, 迭代方向没有意义, $J_k^T J_k$ 在接近奇异时 d_k^{GN} 会很大, Levenberg - Marquardt 算法对高斯-牛顿法进行了修正, 对于当前迭代点, Levenberg - Marquardt 算法引入了阻尼因子 μ , 搜索方向变为

$$d_k = - (J_k^T J_k + \mu_k I)^{-1} J_k^T F(x_k) \tag{5}$$

式中参数 μ_k 为正, μ_k 的选取影响全局收敛, 目前有较多的 μ_k 选择规则。Fan 等^[18]提出 $\mu_k = \|F(x_k)\|^\delta$, 其中 $\delta \in [1, 2]$, 并证明该 Levenberg - Marquardt 算法具有二次收敛性。为更好地满足函数收敛性, Fan 等^[14]提出在 μ_k 前加一系数 α_k , α_k 的变化随 r_k (实际下降量与预测下降量之间的比) 变

收稿日期: 2013-12-03 修回日期: 2014-01-14

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2012AA102002-4)、国家自然科学基金资助项目(31300471)和江苏高校优势学科建设工程资助项目

作者简介: 胡春华, 副教授, 博士, 主要从事计算机视觉与模式识别研究, E-mail: huchunhua@njfu.edu.cn

化而变化,并证明如果 $F(x)$ 连续可微, $F(x)$ 、 $J(x)$ 都 Lipschitz 连续时,该算法全局收敛。如果 $\|F(x)\|$ 满足局部误差有界,该算法是二次收敛的。则改进的 Levenberg - Marquardt 参数为^[14]

$$\mu_k = \alpha_k \|F(x_k)\|^\delta \tag{6}$$

$$r_k = \frac{\|F(x_k)\|^2 - \|F(x_k) + d_k\|^2}{\|F(x_k)\|^2 - \|F(x_k) + J_k d_k\|^2} \tag{7}$$

利用文献[14]中参数计算过程对模型参数进行拟合。

2 杨树枝干模型建立

2.1 杨树树干胸径生长模型

杨树是单轴分枝,其顶芽不断向上生长形成明显单一的主干,且其各级枝的分枝亦是如此,如一级分枝,顶芽不断向外生长,形成明显单一的主枝。杨树每年产生一层轮枝(除非发生特殊情况,如天气干旱、虫害等),且在当年轮枝的下部及上年轮枝的上部之间长出一些间枝。

利用 Richards 生长函数 $H_0 = a(1 - e^{-bA})^c$ 为原型,应用已获取的南方型杨树人工林的 163 块标准地资料和 95 株解析木资料得出的年龄-优势树高数据 661 组,确定实验地优势木树高生长模型^[13]为

$$H_0 = 36.704(1 - e^{-0.128A})^{1.1642} \tag{8}$$

式中 A ——杨树生长年龄

H_0 ——树木高度, m

刘兆刚等^[10]用 Richards 函数作为樟子松胸径随林龄生长与树高随林龄生长的模型函数,并证明具有较好的模拟效果。本文对杨树胸径生长模型采用与树高生长模型相同的 Richards 生长函数。对泗洪县杨树基地杨树胸径进行测量,每次测量距离地面 1.3 m 左右,采用胸径测量尺分别对不同林龄的杨树胸径进行测量。种植密度不同,树的胸径生长不同,即使是同一林分,边缘的树与中间的树长势不一样。分别对 1、3、5、8、12 以及 15 年杨树林边缘、中间的几棵树进行了测量。边缘林地杨树长势较好,中间杨树长势较边缘差,胸径比边缘的小。每林龄段测量 8 组数据,胸径测量数据均值与标准偏差,采用改进的 Levenberg - Marquardt 算法^[14]进行参数拟合,其拟合值见表 1。根据改进的 Levenberg - Marquardt 算法对测量数据拟合出杨树胸径模型为

$$D_0 = 44.7644(1 - e^{-0.0649A})^{0.8315} \tag{9}$$

拟合迭代次数 35 次,均方差为 2.274 3 cm,相关系数为 0.965 1。

2.2 杨树轮枝生长模型

不同树木冠幅不一样,冠幅主要由叶、枝组成。

表 1 不同林龄胸径参数与拟合值

Tab.1 Trunk diameter of different forest age and fitted values

cm

林龄/年	胸径均值	标准偏差	拟合值
1	2.283	0.417	4.483 0
3	11.822	0.526	10.603 5
5	16.867	1.706	15.399 0
8	18.760	2.118	21.113 0
12	28.901	2.019	26.862 0
15	29.967	1.520	30.173 0

枝条决定冠幅的形状。由于解析木方法获得树木冠幅需要砍伐树木,耗费较大,在本研究中采用数字图像方法获得冠幅的形态结构参数。正常生长杨树基本属于轮生,一年生长一轮枝,从树冠顶到底依次为 1 轮枝、2 轮枝等,轮枝属于一级主枝,杨树具有一定的自相似性,因此对于每一轮枝上的二级枝、三级枝等基本成自相似性,对于每轮枝的细枝不进行建模分析,采用与主枝相似性的迭代算法进行可视化。根据采集的图片进行分析,杨树轮枝从上到下有一定的规律,中间轮枝枝长较长,最后一级轮枝枝长较上一级短,轮枝枝长基本呈先增后减的趋势,按采集的图片建立各轮枝之间的相互关系。正常杨树冠幅呈卵形,杨树主枝分布决定杨树的冠幅形状主要因素。据采集的样本图片分析,杨树轮枝之间出现先增加后降低的趋势,卵形曲线没有固定的方程,本文提出一种类心形曲线方程,方程为

$$B_0 = a_0[1 - b_0 \cos(\pi(l + c_0)/(2D_{ep}))] \tag{10}$$

式中 a_0 、 b_0 、 c_0 ——待定系数

l ——轮枝数, $l \in \{1, 2, \dots, D_{ep}\}$

D_{ep} ——实际轮枝总数

以 5 年生杨树与 8 年生杨树为例进行建模分析。5 年生的杨树将最后一轮枝进行了修剪,剩余 4 轮枝。据图像分析,其轮枝长与主干比值的均值与拟合值见表 2。采用本文中改进的 Levenberg - Marquardt 算法对式(10)进行拟合,迭代次数 23 次,均方差为 0.024 3,相关系数为 0.874。拟合方程为 $B_0 = -0.1587[1 - 3.014 \cos(\pi(l - 2.8331)/(2D_{ep}))]$

(11)

表 2 5 年生杨树轮枝长与主干高度比均值与拟合值

Tab.2 Average values of 5 years-old poplar branch and trunk length ratio and the fitted values

轮枝	枝长/主干高	拟合值
1	0.202 7	0.201 2
2	0.267 4	0.294 5
3	0.328 8	0.318 8
4	0.266 8	0.270 5

与 5 年生杨树轮枝模型建立一样,8 年生杨树对最后两轮进行了修枝,其轮枝长与主干比的均值与拟合值见表 3。采用本文中改进的 Levenberg - Marquardt 算法对式 (10) 进行拟合,迭代次数 23 次,均方差为 0.033 6,相关系数为 0.928。拟合公式为

$$B_0 = -0.226\,4[1 - 2.582\,6\cos(\pi(l + 19.48)/(2D_{ep}))]$$

(12)

表 3 8 年生杨树轮枝长与主干高度比均值与拟合值

Tab.3 Average values of 8 years-old poplar branch and trunk length ratio and the fitted values

轮枝	枝长/主干高	拟合值
1	0.137 5	0.125 9
2	0.220 1	0.234 7
3	0.309 6	0.312 1
4	0.333 6	0.352 8
5	0.407 4	0.354 1
6	0.275 3	0.315 7

3 实验结果及分析

本次实验主要针对杨树林边缘杨树以及中间杨树拍摄图片,杨树种植行距大约 4 m。分别对泗洪杨树林场 1、3、5、8、12 以及 15 年杨树林进行采样,每次测量距离地面 1.3 m 左右。采用胸径测量尺分别对不同林龄的杨树胸径进行测量。模型参数拟合采用 Matlab 程序实现。为建立杨树动态三维可视化模型,分别采用 Richards 生长函数、Logistic 函数以及对数函数对杨树胸径随林龄的变化进行拟合^[9],采用本文改进的 Levenberg - Marquardt 算法对其进行参数估计。3 种函数拟合结果如表 4 所示,Richards 生长函数拟合相关度最高。实际测量值与拟合曲线如图 1 所示。由图 1 可知,杨树胸径在刚开始几年生长较快,10 年之后生长较慢。由拟合结果分析,Richards 生长函数拟合胸径随林龄生长的曲线较能代表杨树胸径随林龄生长曲线。

表 4 不同函数胸径拟合结果

Tab.4 Diameters fitting results using different functions

函数	均方差/cm	相关系数
Richards 函数	2.274	0.965 1
Logistic 函数	2.797	0.946 9
对数函数	2.427	0.921 4

将 Richards 函数拟合的数据与实际采集的样本点进行统计 *t* 校验分析,选择置信度为 95%,计算出 *t* = 0.231 3,查表得 *t*_{0.05/2}(47) = 1.96,拒绝域为 |*t*| ≥ *t*_{0.05/2}(47),计算值在拒绝域外,所以模型估计值与实际值无显著差异,该模型适合杨树胸径生长模拟。

将本文采用的改进 Levenberg - Marquardt 算法

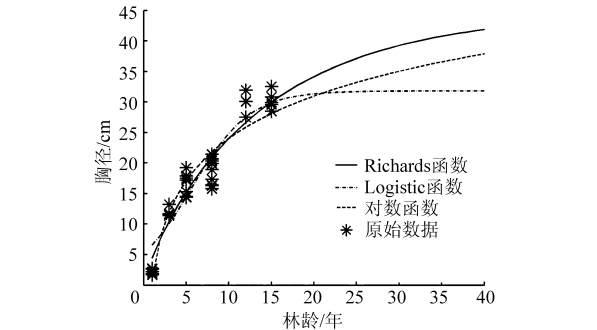


图 1 杨树胸径测量值与拟合曲线

Fig.1 Poplar diameter measurements and the fitted curves

与经典的算法进行了比较分析,Richards 函数作为树干胸径生长函数。其分析比较结果如表 5 所示,本文的 Levenberg - Marquardt 算法收敛速度优于其他几种优化算法,相关系数较高。

表 5 4 种优化算法收敛性比较

Tab.5 Convergence comparison among four kinds of optimization algorithms

参数	优化算法			
	高斯牛顿法	最速下降法	最小二乘	本文算法
收敛速度/s	13.22	12.05	9.23	7.34
相关系数	0.935	0.923	0.905	0.965

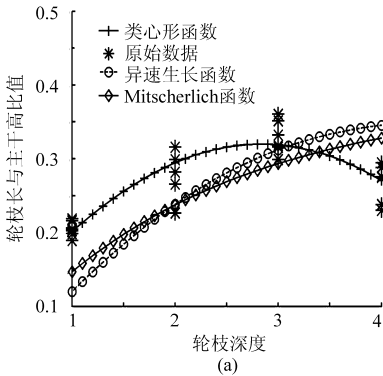
冠幅决定杨树的形状,而主枝决定冠幅的形状,为建立杨树形态结构,利用解析木的方法可靠,但是需要砍伐树木,工作量较大,并且不利于观察杨树后续生长状态。本文采用数字图像处理的方法获得轮枝像素长度,实现杨树三维可视化,采用轮枝像素长度与主干像素长度比值来建立轮枝随深度的变化动态模型,只需要知道主干高度即可计算出轮枝长度,对于不同林龄的杨树轮枝数建立不同的数学模型。对采集的不同林龄的杨树样本图片进行分析,不同林龄杨树分为修剪枝与不修剪枝,对于人工林场为不影响树木正常生长,需修剪枝。对于 5 年生修枝一轮,只剩 4 轮枝,8 年生修枝 2 轮,只剩下 6 轮枝。从顶端到最后一轮,分别为 1、2、3、4 等顺序。采用尼康数码相机获得每个林场不同位置的杨树图片,对边缘与中间行的图片进行采集,利用图像处理方式获得轮枝长与主干高的比值,分别以 5 年生与 8 年生杨树为例进行分析。采用本文的类心形函数、异速生长函数 $y = ax^b e^{cx}$ ^[9] 以及 Mitscherlich 函数 $y = a(1 - e^{-bt})$ ^[10] 对轮枝长随轮枝深度进行拟合,并采用本文改进的 Levenberg - Marquardt 算法获得拟合函数的参数。表 6 为 5 年生拟合结果,表 7 为 8 年生拟合结果,本文提出的类心形函数均方差较小且相关系数高于其他函数。为更好地显示拟合结果,将原始数据与拟合函数随轮枝深度变化曲线用

图绘制出来,如图 2 所示。轮枝之间的关系直接影响杨树冠幅形状,杨树冠幅呈卵形,图 2 中散点图用异速生长函数拟合曲线与 Mitscherlich 函数拟合曲

表 6 不同函数对 5 年生杨树轮枝长与主干高比值拟合结果

Tab.6 5-year-old poplar branch and trunk length ratio fitting results using different functions

函数	均方差	相关系数
类心形函数	0.024 3	0.874 3
异速生长函数	0.026 7	0.847 2
Mitscherlich 函数	0.033 7	0.742 3



线不能较好地代表杨树冠幅形状,且拟合效果不如类心形函数。本文建立的模型方程适合建立轮枝长度随深度的变化趋势。

表 7 不同函数对 8 年生杨树轮枝长与主干高比值拟合结果

Tab.7 8-year-old poplar branch and trunk length ratio fitting results using different functions

函数	均方差	相关系数
类心形函数	0.033 6	0.928 1
异速生长函数	0.037 4	0.910 7
Mitscherlich 函数	0.042 6	0.883 3

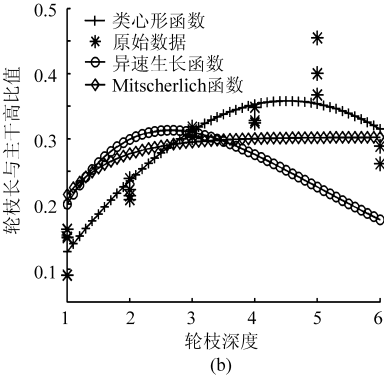


图 2 杨树轮枝长与主干高比值测量值与拟合曲线

Fig.2 Fitted curves of poplar branch and trunk ratio

(a) 5 年生杨树轮枝 (b) 8 年生杨树轮枝

为更好地观察杨树模型建立是否符合实际杨树生长的状态,在 VC++ 环境下采用 OpenGL 图像库建立三维可视化模型。杨树叶片与树干采用纹理贴图方式,其中杨树叶片采用叶片分割算法从样本图片中分割出不同层级的叶片作为纹理贴图备用。杨树主干与枝干均采用圆台形状,对于轮枝与主干之间的夹角采用图像处理技术,利用向量夹角求法求得每轮主枝与主干之间的夹角。实际中,不同杨树生长的环境,其夹角也不同,比如林场中间的夹角比边缘的小,最下轮枝角度较大,有的在 90°左右,甚至更大。由于生长重力原因,第一轮枝夹角 30°左右,对每一轮枝加一个随机数,轮枝上的细枝采用自相似的迭代方式进行迭代。为减少变量参数,三维可视化变量参数只有林龄,在程序中只需要修改林龄即可获得对应的杨树可视化模型。杨树基本属于轮生,林龄即是轮枝总数。根据杨树树高模型、胸径模型、枝长模型、轮枝与主干间夹角关系以及每轮枝在主干上位置关系建立三维可视化模型,如图 3 所示,图中枝长以及夹角加入小的随机数,效果更自然。

4 结论

(1) 采用改进的 Levenberg - Marquardt 算法对杨树干、胸径以及枝长随轮枝深度的变化进行建模。



图 3 杨树动态三维可视化

Fig.3 Dynamic three-dimensional visualization of poplar

(a) 5 年生杨树 (b) 8 年生杨树

为实现杨树动态三维可视化,对不同林龄杨树的直径进行测量,去掉奇异点即极大、极小点,根据杨树直径随林龄生长变化趋势选择直径生长模型函数,分别采用 Richards 生长函数,Logistic 函数以及对数函数对杨树胸径模型进行拟合,采用改进的 Levenberg - Marquardt 算法对其进行参数估计,实验结果表明, Richards 生长函数较好地反映了杨树胸径生长变化,并与几种经典的参数估计法进行了比较,结果表明改进的 Levenberg - Marquardt 算法收敛速度快且相关系数较高。

(2) 采用图像处理的方法采集不同枝与主干之间的关系,根据趋势曲线选择主枝随轮枝深度变化的趋势曲线,根据杨树形态关系,分别采用类心形函

数、异速生长函数以及 Mitscherlich 函数对轮枝长随轮枝深度进行拟合,参数采用改进的 Levenberg - Marquardt 算法进行估计。经实验数据分析,本文提出的数学模型能较好地对杨树枝长随轮枝深度变化

进行描述。并利用 OpenGL 软件将动态模拟方程进行三维可视化,可视化效果图能较好地反映杨树生长过程。

参 考 文 献

1 Dufour-kowalski S, Courbaud B, Dreyfus P, et al. Capsis: an open software framework and community for forest growth modeling[J]. Annals of Forest Science, 2012, 69(2):221 - 233.

2 Rosell J R, Sanz R. A review of methods and applications of the geometric characterization of tree crops in agricultural activities[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 81: 124 - 141.

3 陶嗣巍,赵东. 树木几何结构快速建模的研究[J]. 北京林业大学学报, 2013, 35(2):97 - 101.

Tao Siwei, Zhao Dong. Rapid parametric modeling of geometry structure for trees[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2013, 35(2):97 - 101. (in Chinese)

4 Zhou J, Chen L T, Liu Q H, et al. Fractal-based 3d tree modeling[C]//2010 International Conference on Computer Design and Applications (ICCD), 2010, 5:454 - 457.

5 Allen M T, Prusinkiewicz P, Dejong T M. Using L-systems for modeling source-sink interactions, architecture and physiology of growing trees: the L-PEACH model[J]. New Phytologist, 2005, 166(3):869 - 880.

6 刘彦宏,王洪斌,杜威,等. 基于图像的树类物体的三维重建[J]. 计算机学报, 2002, 25(9): 930 - 935.

Liu Yanhong, Wang Hongbin, Du Wei, et al. Image-based reconstruction of tree-like objects [J]. Chinese Journal of Computers, 2002, 25(9): 930 - 935. (in Chinese)

7 Teng C H, ChenY S. Image-based tree model from a few images with very narrow viewing range[J]. Visual Computer, 2009, 25(4):297 - 307.

8 Cheng Z L, Zhang X P, Chen B Q. Simple reconstruction of tree branches from a single range image[J]. Journal of Computer Science and Technology, 2007, 22(6):846 - 858.

9 卢康宁. 基于生理生态模型的杉木形态结构变化可视化模拟研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2012.

Lu Kangning. The research of visual simulation of morphological structure change of cunninghamia lanceolata based on physiological and ecological model[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2012. (in Chinese)

10 刘兆刚. 樟子松人工林树冠动态三维图形模拟技术的研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2007.

Liu Zhaogang. The three dimensional computer graphics simulation technique of tree crown dynamic for mongolian scots pine in plantation [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2007. (in Chinese)

11 赵庆丹,罗传文,孙海洪,等. 基于 OpenGL 和 VC 的树木三维可视化模拟实现[J]. 东北林业大学学报,2010,38(11): 54 - 57.

Zhao Qingdan,Luo Chuanwen,Sun Haihong, et al. Realization of 3D tree visualization simulation based on OpenGL and VC ++ [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2010,38(11):54 - 57. (in Chinese)

12 陈卓,马洪超,邹建伟. 基于机载 LiDAR 数据的三维树木建模方法[J]. 计算机工程,2012, 38(4):1 - 3.

Chen Zhuo, Ma Hongchao, Wu Jianwei. 3D tree-modeling approach based on airborne LiDAR data[J]. Computer Engineering, 2012, 38(4):1 - 3. (in Chinese)

13 肖君,方升佐,徐锡增. 南方型杨树人工林立地指数表的编制[J]. 福建农林大学学报:自然科学版,2006,35(6):604 - 609.

Xiao Jun, Fang Shengzuo, Xu Xizeng. Construction of site index tables of poplar plantations in southern areas[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition, 2006,35(6):604 - 609. (in Chinese)

14 Fan J Y, Zeng J L. A Levenberg - Marquardt algorithm with correction for singular system of nonlinear equations[J]. Applied Mathematics and Computation,2013,219(17): 9438 - 9446.

15 Levenberg K. A method for the solution of certain problems in least squares[J]. Quarterly of Applied Mathematics, 1944, 2:164 - 168.

16 Marquardt D. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters[J]. Journal on Applied Mathematics, 1963, 11(2): 431 - 441.

17 Jose P. The solution of nonlinear inverse problems and the Levenberg - Marquardt method[J]. Geophysics, 2007, 72(4):w1 - w16.

18 Fan J Y, Yuan Y. On the quadratic convergence of the Levenberg - Marquardt method without nonsingularity assumption[J]. Computing, 2005, 74(1):23 - 39.

Signal Transmission Characteristics of 2.4 GHz Wireless Sensor Network in Tomato Greenhouse

Han Wenting^{1,2} Wang Yi^{1,2}

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shannxi 712100, China
2. Institute of Water Saving Agriculture in Arid Areas of China, Northwest A&F University, Yangling, Shannxi 712100, China)

Abstract: For deploying a wireless sensor network system and studying the channel characteristics in tomato greenhouse, relationships among radio frequency signal propagation characteristics and communication distances, antenna heights, transmission paths were studied with a 2.4 GHz carrier frequency for configuring wireless sensor network in a tomato greenhouse. The results showed that the attenuation of the received signal strength caused by communication distance accorded with a logarithmic model. When the height was fixed, the strength index of received signal tended to decrease and the packet loss rate fluctuated as the distance of transmitter to receiver increased, which was an overall increasing trend. It was the best to place the antennas at a column of central location in greenhouse, in the top of the tomato or above of it, followed at higher place above 1.5 m. The regression analysis results demonstrated that there was a quadratic relationship between the regression parameter A and the antenna height, and there was also a quadratic regression equation between the environmental factor n and antenna height. Besides, a model used for calculating the received signal strength of 2.4 GHz transmitting through tomato greenhouse was constructed. Validation results showed that the model could better predict the received signal strength at different distance point at different height. This research can provide a reference for WSNs application.

Key words: Wireless sensor network Tomato Greenhouse 2.4 GHz radio communication Signal attenuation

(上接第 276 页)

Poplar Branch and Trunk Modeling Based on Levenberg – Marquardt

Hu Chunhua¹ Li Pingping² Zhu Yongli²

(1. College of Information Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China
2. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: The improved Levenberg – Marquardt algorithm was used to estimate the parameters of poplar branch and trunk modeling. To achieve a dynamic three-dimensional visualization of poplar, amount of diameters were obtained by measuring different poplars forest age. According to the growth trend of diameters, the function of diameter growth was built using the improved Levenberg – Marquardt algorithm. A class of heart-shaped curve equation was proposed, and the relationship function between the main branch length and the depth of the sticks was obtained using the improved Levenberg – Marquardt algorithm. A lot of comparison experiments were carried out, and the results demonstrated that the fitting algorithms and mathematical models selected could better simulate the growth of poplar branches. The three-dimensional visualization of poplar was realized with dynamic simulation equation, and the results validated the effectiveness of poplar growth modeling.

Key words: Poplar Levenberg – Marquardt algorithm 3D visualization model