

# WMSN 图像节点低内存小波变换方法研究\*

陆明洲<sup>1</sup> 刘志强<sup>1</sup> 沈明霞<sup>1</sup> 刘龙申<sup>1</sup> 杨晓静<sup>2</sup> 周波<sup>3</sup>

(1. 南京农业大学江苏省现代设施农业技术与装备工程实验室, 南京 210031;

2. 南京农业大学农业部动物生理生化重点实验室, 南京 210095; 3. 南京农业大学动物科技学院, 南京 210095)

**摘要:** 基于 Le Gall 5/3 滤波器提出了一种逐行小波变换方法, 处理器从图像节点 SD 卡逐行读出图像信息, 完成多级变换后将变换结果行写入 SD 卡。该方法 SRAM 内存需求低, 且仅涉及定点整数乘法、加法及移位操作。应用所提方法对一幅 256 像素 × 256 像素仔猪灰度图像进行小波变换实验, 结果表明, 该方法以合理的定点运算代价换取了 3.968 KB 的 SRAM 开销以及 8.718 s 的时间开销。为基于小波变换的 WMSN 节点图像压缩奠定了基础, 使农业生产图像在低带宽 WMSN 上高效传输成为可能。

**关键词:** 多媒体传感器网络 图像压缩 低内存 逐行小波变换 Le Gall 5/3 滤波器

**中图分类号:** TP29 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)04-0289-05

## 引言

无线多媒体传感器网络 (Wireless multimedia sensor network, WMSN)<sup>[1]</sup> 是在传统传感器网络<sup>[2]</sup> 基础上加入音频、图像等多媒体传感器节点构成的一种新型分布式感知网络。近年来, 研究人员针对农业生产信息监测应用特点设计图像传感器节点<sup>[3-4]</sup>, 尝试利用 WMSN 采集更加丰富的农业生产信息<sup>[5]</sup>。出于低成本考虑, 农业生产信息监测应用中的 WMSN (WMSN-agri) 节点常采用单片机处理器 (不具备浮点运算单元), 且尽量不扩展 SRAM。

图像信息对 WMSN 无线信道而言过于庞大, 传输前需要执行网内图像数据压缩以降低图像信息量<sup>[6]</sup>。根据网络节点部署特点, 网内图像压缩方法可分为两类: 第 1 类是多节点分布式协同压缩<sup>[7-9]</sup>, 这类方法要求网络节点密集部署; 第 2 类是图像节点片上图像压缩<sup>[10-12]</sup>, 这类方法适合于网络节点稀疏部署的应用场景。WMSN-agri 节点一般稀疏部署, 宜采用片上图像压缩方法。二维离散小波变换是 JPEG2000 静态图像压缩标准的基础, 该变换方法需将整幅图像加载到节点 SRAM 且需要浮点运算。因此, 需要针对 WMSN-agri 图像节点设计一种低 SRAM 需求、仅需定点运算的图像小波变换方法。文献[13-14]分别基于行、带提出低内存小波

图像变换方案, 但这两种方法均未考虑仅拥有定点运算单元的微处理器的应用场景, 且其内存开销仍存在降低空间。

本文基于 Le Gall 5/3 滤波器, 提出一种仅涉及定点整数运算的低 SRAM 需求图像逐行小波变换方法。

## 1 图像压缩中的小波变换

### 1.1 小波滤波器组

小波变换一般采用具有线性相位、对称性的双正交小波滤波器组, 常用的有 Daubechies 9/7 及 Le Gall 5/3 滤波器<sup>[15]</sup>。Le Gall 5/3 滤波系数如表 1 所示, 其系数左移 3 位即可得到相应的整型系数。考虑到 WMSN-agri 图像节点处理器仅具有定点运算单元, 本文选用 Le Gall 5/3 滤波器。

表 1 Le Gall 5/3 滤波系数

Tab.1 Filter coefficients of Le Gall 5/3

$j$	低通滤波系数	高通滤波系数
0	6/8	1
$\pm 1$	2/8	-1/2
$\pm 2$	-1/8	0

### 1.2 传统小波变换方法

传统小波变换方法针对待压缩图像数据的每一行  $s = [s_0, s_1, \dots, s_{N-1}]$  分别使用低通、高通滤波器

收稿日期: 2013-05-07 修回日期: 2013-06-09

\* 农业部公益性行业科研专项资助项目(201003011)、江苏省产学研联合创新资金——前瞻性联合研究资助项目(BY2012207)和南京农业大学青年科技基金资助项目(KJ2011021)

作者简介: 陆明洲, 副教授, 主要从事智能化设施农业研究, E-mail: lmz@njau.edu.cn

通讯作者: 沈明霞, 教授, 博士生导师, 主要从事机器视觉与信息农业领域研究, E-mail: mingxia@njau.edu.cn

滤波,对滤波结果向量执行下取样操作,形成原信号  $s$  的近似值向量  $\mathbf{a}$  及细节值向量  $\mathbf{d}$ ,其各分量  $a_i, d_i$  分别为

$$a_i = J(s, 2i) = \sum_{j=-2}^2 s_{2i+j} Al_j \quad (1)$$

$$\left( i = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} - 1 \right)$$

$$d_i = J(s, 2i+1) = \sum_{j=-1}^1 s_{2i+1+j} Ah_j \quad (2)$$

$$\left( i = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} - 1 \right)$$

式中  $J$ ——卷积运算  $Al_j$ ——低通滤波系数  
 $N$ ——图像水平、垂直像素数  
 $Ah_j$ ——高通滤波系数

式(1)、(2)分别针对原始信号偶序列及奇序列作卷积,针对式(1)、(2)变换结果矩阵的每一列重复低通、高通滤波及下取样操作,可将图像变换为 4 个  $N/2 \times N/2$  的小波系数子带,如图 1 所示。

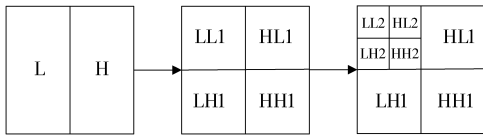


图 1 图像二级小波变换结果

Fig. 1 Two-level image wavelet transform

图 1 中,LL1 为原图像的第 1 级低频子带。针对 LL1 再次执行传统小波变换即可得到第 2 级低频子带 LL2 及高频子带 HL2、LH2、HH2,依此类推,可计算得到最低频子带 LL3。LL3 大小为  $N/8 \times N/8$ ,是原图像的第 3 级近似系数方阵。

## 2 逐行小波变换方法

### 2.1 逐行小波 1 级变换

传统小波变换方法需要将整幅图像装载到 SRAM,不适用于低 SRAM 的图像节点。本节提出一种逐行小波变换方法,降低 SRAM 开销需求。

记 SD 卡上大小为  $N \times N$  的待变换图像为  $\text{pic}$ ,记行变换后的中间结果方阵为  $\text{pic}_r$ ,则  $\text{pic}_r[i]$  的下标为  $j$  的元素值可由  $\text{pic}[i]$  中以  $2j$  为中心的左、右 5 个元素值 ( $0 \leq j < N/2$ ) 及以  $2j+1-N$  为中心的左、右共 3 个元素值 ( $N/2 \leq j < N$ ) 计算得到,即

$$\text{pic}_r[i][j] = \sum_{k=-2}^2 \text{pic}[i][2j+k] Al[k] \quad (3)$$

$$\left( 0 \leq i < N, 0 \leq j < \frac{N}{2} \right)$$

$$\text{pic}_r[i][j] = \sum_{k=-1}^1 \text{pic}[i][2j+1-N+k] Ah[k] \quad (4)$$

$$\left( 0 \leq i < N, \frac{N}{2} \leq j < N \right)$$

记 1 级小波变换结果为  $\text{pic}_r$ ,则  $\text{pic}_r[i]$  ( $0 \leq i < N/2$ ) 可由  $\text{pic}_r$  方阵中以  $2i$  为中心的 5 个行向量分别乘以  $Al[k]$  ( $-2 \leq k \leq 2$ ) 并纵向累加得到, $\text{pic}_r[i+N/2]$  ( $0 \leq i < N/2$ ) 可由  $\text{pic}_r$  方阵中以  $2i+1$  为中心的 3 个行向量分别乘以  $Ah[k]$  ( $-1 \leq k \leq 1$ ) 并纵向累加得到,即

$$\text{pic}_r[i][j] = \sum_{k=-2}^2 \text{pic}_r[2i+k][j] Al[k] \quad (5)$$

$$\left( 0 \leq i < \frac{N}{2}, 0 \leq j < N \right)$$

$$\text{pic}_r\left[i + \frac{N}{2}\right][j] = \sum_{k=-1}^1 \text{pic}_r[2i+1+k][j] Ah[k] \quad (6)$$

$$\left( 0 \leq i < \frac{N}{2}, 0 \leq j < N \right)$$

式(3)~(6)表明小波变换结果的行  $i$  及  $i+N/2$  由  $\text{pic}[2i-2]$  到  $\text{pic}[2i+2]$  图像区域计算得到,如图 2 所示,图中  $\text{pic}$  为保存在 SD 卡上的原始图像。依次从 SD 卡中读取  $\text{pic}[2i-2]$  到  $\text{pic}[2i+2]$  到 SRAM,执行式(3)、(4)完成行变换,然后将行变换结果分别乘以  $Al[k]$  及  $Ah[k-1]$  并累加得到逐行小波中间变换向量  $\text{pic}_r\text{-zhl}$  及  $\text{pic}_r\text{-zhh}$ ,当以  $2i$  为中心的 5 行图像数据处理完成后,即实现了 2.1 部分描述的传统小波变换结果。该方法每次仅需读取原始图像的 1 行进入 SRAM,存储开销低。

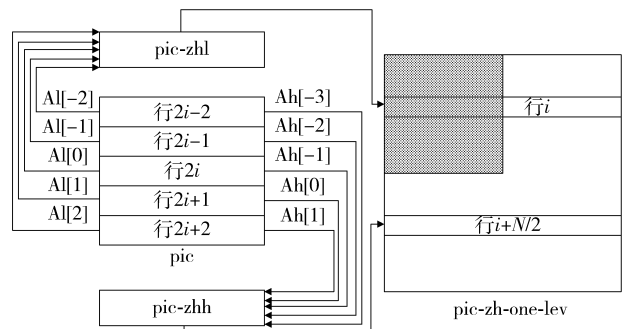


图 2 逐行小波变换示意图

Fig. 2 One level line based wavelet transform

图 2 中的  $Ah[-3]$ 、 $Ah[-2]$  取值均为零,因此  $\text{pic}_r\text{-zhh}$  实际上就是由以行  $2i+1$  为中心的 3 行图像像素值与  $Ah[-1] \sim Ah[1]$  计算得到。1 级图像逐行小波变换伪代码为:

伪代码 1:

```
for(i = 0; i < N/2; i++) {
    pic-zhl 清零; pic-zhh 清零;
    for(j = -2; j <= 2; j++) {
        读取行 2i+j 进入数组 row-t;
        for(m = 0; m < N/2; m++) {
            x = row-t 与 Al 偶序列卷积;
            pic-zhl 累加 Al[j] · x;
```

```

pic-zhh 累加 Ah[j - 1] · x;
y = row-t 与 Ah 奇序列卷积;
pic-zhl 累加 Al[j] · y;
pic-zhh 累加 Ah[j - 1] · y; } }
for(t=0; t < N; t + +)
{ pic-zhl[t] >> 6; pic-zhh[t] >> 6; }
pic-zhl 写入 pic-zh-one-lev[i];
pic-zhh 写入 pic-zh-one-lev[i + N/2]; }

```

伪代码 1 中采用的是各系数左移 3 位后的 Le Gall 5/3 滤波器, pic-zh-one-lev 的每一行小波变换结束后, 将变换结果所有系数右移 6 位即得到其对应的 1 级小波变换结果。

## 2.2 逐行小波多级变换

为了获得较好的压缩性能, 需要多级小波变换。

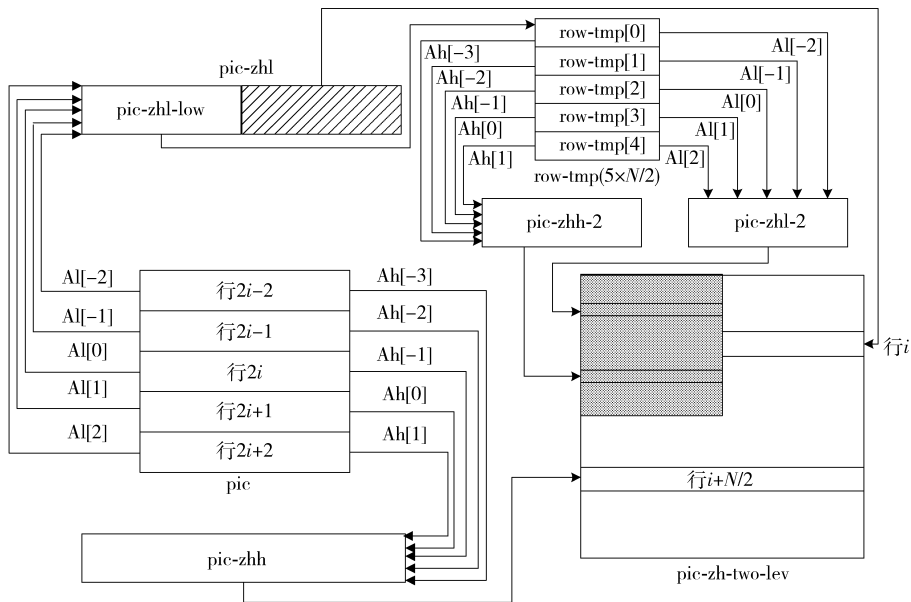


图 3 2 级逐行小波变换示意图

Fig. 3 Two level line based wavelet transform

当 row-tmp 二维数组元素全部计算完毕, 逐行取出 row-tmp 数组中的各行, 执行下述 3 步操作:

(1) 对取出的行进行低通、高通滤波。

(2) 将行滤波结果分别乘以  $Al[k]$  及  $Ah[k-1]$  并累加得到 2 级逐行小波中间变换向量 pic-zhl-2 及 pic-zhh-2。row-tmp 中 5 行数据执行完上述两步操作后, 将 pic-zhl-2 及 pic-zhh-2 分别写入 pic-zh-two-lev 左上方灰色背景部分的行  $i$  及行  $i + N/4$ 。

(3) 更新 row-tmp 数组。即步骤(1)(2)执行结束后, 将 row-tmp 数组各行向下移动 2 行, 则 row-tmp[3]、row-tmp[4] 移出数组, row-tmp[0] 及 row-tmp[1] 空出。分别读取原始图像以  $pic[2(i+1)]$  及  $pic[2(i+2)]$  为中心的 5 行图像区域执行伪代码 1, 将各次生成的 pic-zhl-low 元素分别写入 row-tmp[0] 及 row-tmp[1], 回到步骤(1)。至此, 当原图像行号

$n$  级小波变换可通过对前一级的变换结果的 LL 子带执行 2.1 部分描述的 1 级小波变换  $n$  次实现, 记这种方法为逐行法 -1, 但这种方法需要反复读写 SD 卡, 效率较低。通过在 SRAM 中开辟辅助向量, 可实现读取 1 行图像数据同时完成  $n$  级变换的目标, 记该方法为逐行法 -2, 本部分以 2 级小波变换为例说明逐行法 -2。

图 2 pic-zh-one-lev 的阴影部分为 1 级小波变换结果的 LL1, 2 级小波变换可针对 LL1 执行逐行变换得到。为了实现读取一行图像信息同时完成 2 级变换的目标, pic-zhl、pic-zhh 计算完成后将 pic-zhh 整体及 pic-zhl 的后  $N/2$  个元素直接写入 pic-zh-two-lev, 将 pic-zhl-low 部分元素存储于  $5 \times (N/2)$  的二维数组 row-tmp, 如图 3 所示。

$i$  从 0 遍历到  $N/2 - 1$ , 图像 2 级小波变换完成。

## 3 算法测试与开销分析

### 3.1 算法测试

将 1 幅 256 像素  $\times$  256 像素的仔猪灰度图像存入 STM32 核心板 SD 卡中, 原始图像如图 4a 所示。在 Keil 4 环境中编写 2.2 部分逐行法 -2 小波变换程序, 烧写到 STM32, 依次从 SD 卡中读取仔猪图像各行执行 1 级、2 级及 3 级小波变换并将结果存入 SD 卡。图像所有行变换结束后, 读取 SD 卡中的仔猪图像小波变换结果分别如图 4b、4c 及 4d 所示。在 Matlab 中打开图 4d 及仔猪图像传统小波 3 级变换结果矩阵数据发现, 两幅图像矩阵数据一致, 本文所提的 3 级逐行小波变换能够实现传统图像小波变换方法的效果。

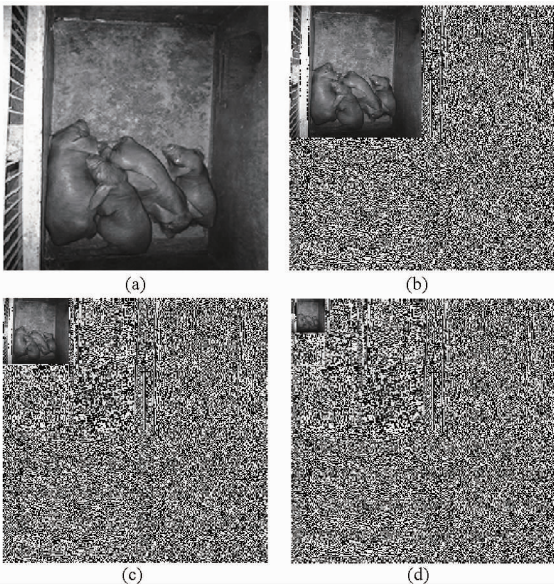


图4 仔猪图像逐行小波变换

Fig.4 Line based wavelet transform on a piglet picture

(a) 原始图 (b) 1级逐行小波变换

(c) 2级逐行小波变换 (d) 3级逐行小波变换

## 3.2 算法开销分析

### 3.2.1 存储开销

利用本文提出的逐行法-2小波变换方法对256像素×256像素仔猪灰度图像执行1级小波变换仅需在SRAM中维护3个向量,分别是当前处理的图像行row-t、逐行小波变换中间向量pic-zhl及pic-zhh。其中,row-t大小与原始图像行大小一致,即为256B。由于逐行法-2小波变换采用定点整型数据运算,pic-zhl及pic-zhh均为512B,因此,1级逐行小波变换SRAM开销为1280B。

逐行法-2法2级小波变换在1级变换的基础上增加了1个 $5 \times 256$ B的二维数组row-tmp及2个256B的一维数组pic-zhl-2、pic-zhh-2。因此逐行2级小波变换共需SRAM空间为3072B。依此类推,逐行法-2方法3级小波变换所需SRAM空间为3968B。

对于一幅256像素×256像素灰度仔猪图像,多级逐行小波变换与传统小波变换的存储开销如表2所示。

表2 传统变换法与逐行法存储开销对比

Tab.2 Compare of storage cost of two method kB

变换方法	1级	2级	3级
传统法	192	32	8
逐行法-1	1.28	0.768	0.384
逐行法-2	1.28	3.072	3.968

表2数据表明,逐行法-1、逐行法-2小波变换均能够大幅减少变换过程所需的SRAM容量。

在2级、3级变换中,逐行法-1比逐行法-2存储开销更低,但前者读写SD卡频率明显高于后者,由此带来更长的算法执行时间。在keil4中比较逐行法-1、逐行法-2的多级小波变换硬件仿真时间,对比如表3所示。

表3 两种逐行变换法运行时间开销对比

Tab.3 Compare of time cost of line-based

method-1 and line-based method-2

变换方法	1级	2级	3级
逐行法-1	7.508	12.585	16.386
逐行法-2	7.508	8.322	8.718

表3数据表明,虽然逐行法-2存储开销稍大,但在对256像素×256像素仔猪灰度图像执行3级逐行小波变换时,其时间开销近似为逐行法-1的1/2。

### 3.2.2 计算开销

分析逐行法-1及逐行法-2可知,两种变换方法在定点运算开销上相同。本部分针对1幅 $N \times N$ 仔猪灰度图像,分析逐行法-2小波变换的计算开销。逐行法-2的1级逐行变换共处理 $N/2$ 个图像区域,每个图像区域5行。针对图像区域各行执行低通、高通滤波分别需要 $5N/2 + 3N/2$ 次定点乘法及 $3N$ 次定点加法操作。注意到 $Ah[-3]$ 、 $Ah[-2]$ 均为零,因此将行低通高通滤波结果分别乘以 $Al[j]$ 及 $Ah[j-1]$ 并累加到pic-zhl及pic-zh2过程中,变换区域前2行分别需要 $N$ 次乘法及 $N$ 次加法操作,变换区域后3行需要 $2N$ 次乘法及 $2N$ 次加法操作。

因此1个变换区域生成1级变换结果中的2行(图3)需要执行的定点乘法操作次数为 $(4N + N) \times 2 + (4N + 2N) \times 3$ 次,即 $28N$ 次,需要执行的定点加法操作次数为 $(3N + N) \times 2 + (3N + 2N) \times 3$ ,即 $23N$ 次。而整幅图像的逐行小波涉及 $N/2$ 个变换区域,因此逐行法-1法1级小波变换需要的定点乘法、加法次数分别为 $14N^2$ 及 $23N^2/2$ 。

若在逐行小波变换实现程序中直接设定Le Gall 5/3滤波器整型滤波系数,则1幅 $N \times N$ 仔猪图像1级逐行小波变换需要做 $N^2$ 次右移6位的移位操作。将 $N$ 逐次减半,即可得到逐行第2级、第3级小波变换的定点运算开销。1幅 $256 \times 256$ 仔猪灰度图像逐行小波各级变换计算开销对比如图5所示。

图5曲线表明,图像节点利用逐行小波变换方法实现仔猪图像3级变换操作需作 $9.89 \times 10^5$ 次定点加法、 $1.2 \times 10^6$ 次乘法及 $8.6 \times 10^4$ 次移位操作,计算开销合理,适合于WMSN-agri图像节点应用。

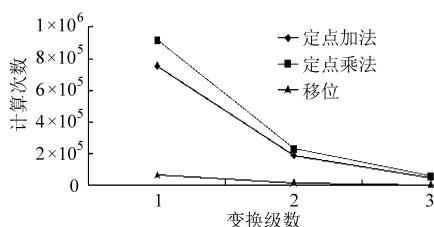


图5 逐行法计算开销图

Fig. 5 Computation cost of line based wavelet transform

## 4 结论

(1) 针对农业生产信息监测应用中 WMSN 图

像节点内存低、不具备浮点运算单元的特点,基于 Le Gall 5/3 滤波器提出一种逐行小波变换方法。编写该方法的实现程序并烧写到 STM32 处理器实际测试,结果表明该方法仅采用定点乘法、加法及移位 3 种定点运算实现了图像 3 级小波变换。

(2) 算法开销分析部分表明,逐行小波变换方法的存储开销远远小于传统小波变换法,且其定点计算开销合理,适用于 WMSN-agri 图像节点的微处理器,为基于小波变换的 WMSN-agri 节点片上图像压缩奠定了基础,使农业生产图像在低带宽 WMSN-agri 无线链路上高效传输成为可能。

## 参 考 文 献

- Ian F A, Tommaso M, Kaushik R C, A survey on wireless multimedia sensor networks[J]. International Journal of Computer and Telecommunications Networking, 2007, 51(4): 921 - 960.
- Akyildiz I F. Wireless sensor network: a survey[J]. Computer Networks, 2002, 38(4): 393 - 422.
- 杨信廷, 吴滔, 孙传恒, 等. 基于 WMSN 的作物环境与长势远程监测系统[J]. 农业机械学报, 2013, 44(1): 167 - 173. Yang Xinting, Wu Tao, Sun Chuanheng, et al. Rmote monitoring system of crop environment and growing based on WMSN[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(1): 167 - 173. (in Chinese)
- 赵春江, 屈利华, 陈明, 等. 基于 ZigBee 的温室环境监测图像传感器节点设计[J]. 农业机械学报, 2012, 43(11): 192 - 196. Zhao Chunjiang, Qu Lihua, Chen Ming, et al. Design of ZigBee-based greenhouse environment monitoring image sensor node[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(11): 192 - 196. (in Chinese)
- 熊迎军, 沈明霞, 孙玉文, 等. 农田图像采集与无线传输系统设计[J]. 农业机械学报, 2011, 42(3): 184 - 187. Xiong Yingjun, Shen Mingxia, Sun Yuwen, et al. Design on system of acquisition and wireless transmission for farmland image [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3): 184 - 187. (in Chinese)
- Lu Qin, Luo Wusheng, Wang Jidong, et al. Low-complexity and energy efficient image compression scheme for wireless sensor networks[J]. Computer Networks, 2008, 52(13): 2594 - 2603.
- Mammeri A, Khoumsi A, Ziou D, et al. Energy-efficient transmission scheme of JPEG images over visual sensor networks[C] // 33rd IEEE Conference on Local Computer Networks, 2008: 639 - 647.
- Wu H M, Abouzeid A A. Energy efficient distributed JPEG2000 image compression in multihop wireless networks[C] // 4th Workshop on Applications and Services in Wireless Networks, 2004: 152 - 160.
- 张龙妹, 陆伟, 史浩山. 一种适用于多跳 WMSNs 的分布式图像压缩算法[J]. 西北工业大学学报, 2010, 28(5): 695 - 699. Zhang Longmei, Lu Wei, Shi Haoshan. Proposing a distributed image compression algorithm suitable for multihop wireless multimedia sensor networks(WMSNs) [J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2010, 28(5): 695 - 699. (in Chinese)
- Chen Shoushun, Wang Yan. A CMOS image sensor with on-chip image compression based on predictive boundary adaptation and memoryless QTD algorithm[J]. IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, 2011, 19(4): 538 - 547.
- Tom Pearson. Hardware-based image processing for high-speed inspection of grains [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 69(1): 12 - 18.
- Johannes Karlsson. Image compression for wireless sensor networks[D]. Umea Sweden: Umea University, 2007.
- 李丹. 基于行的低内存小波图像压缩研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2004. Li Dan. Research on line-based low memory wavelet image compression[D]. Wuhan: Wuhan University, 2004. (in Chinese)
- 张雄明. 低内存需求的图像压缩关键技术研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2009. Zhang Xiongming. Contributions to image compression with low-memory requirement[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2009. (in Chinese)
- 于超, 王志军, 冯坚. JPEG2000 中不同小波基的图像压缩性能分析[J]. 小型微型计算机系统, 2003, 24(7): 1386 - 1389. Yu Chao, Wang Zhijun, Feng Jian. Wavelet filter performance evaluation in JPEG2000[J]. Mini-micro Systems, 2003, 24(7): 1386 - 1389. (in Chinese)

- 17 Paltineanu I C, Starr J L. Real-time soil water dynamics using multisensor capacitance probes: laboratory calibration[J]. Soil Science Society of America Journal, 1997, 61(6):1576 – 1585.
- 18 Sun Y, Ma D, Lin J, et al. An improved frequency domain technique for determining soil water content[J]. Pedosphere, 2005, 15(6):805 – 812.
- 19 Sun Y, Ma D, Schulze Lammers P, et al. On-the-go measurement of soil water content and mechanical resistance by a combined horizontal penetrometer[J]. Soil Tillage Research, 2006, 86(1):209 – 217.
- 20 Shull H, Dylla A S. Irrigation automation with a soil moisture sensing system[J]. Transactions of the ASAE, 1980, 23(3):649 – 652.

## Optimal Model of Dual-layer Water-saving Irrigation on Urban Green Land

Zhao Yandong<sup>1</sup> Liu Shengbo<sup>1</sup> Tao Xin<sup>2</sup> Lai Xiaolong<sup>1</sup> Cai Xiang<sup>3</sup>

(1. School of Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2. MENOBLE Co., Ltd., Beijing 100083, China

3. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Precise irrigation of agro forestry is imminent with the shortage of water resources in the world and the development of modern agro forestry and information science. One of the effective means to realize precise irrigation is to improve the control method and control accuracy. In order to study the effective control strategy for the irrigation of urban green land, an irrigation control model with optimal control theory was built. To testify the model, a dual-layer sensor was used to obtain the soil moisture in depth of two layers (20 cm and 40 cm) simultaneously. The experiment was conducted in an urban green land of Beijing. With the same climatic environment, the traditional irrigation control model with Bang – Bang control method and the optimal irrigation control model were compared. After comparative study in two months of 2011, the experiment result indicated that, comparing with Bang – Bang control, the optimal control saved water remarkably (approx. 25%) in the same weather, soil and grass management conditions and ensured the lawn grass meeting the landscape requirements.

**Key words:** Water-saving irrigation Urban green land Optimal control Bang – Bang control

(上接第 293 页)

## Image Wavelet Transform on Low Memory Sensor Nodes of WMSN

Lu Mingzhou<sup>1</sup> Liu Zhiqiang<sup>1</sup> Shen Mingxia<sup>1</sup> Liu Longshen<sup>1</sup> Yang Xiaojing<sup>2</sup> Zhou Bo<sup>3</sup>

(1. Jiangsu Province Engineering Lab for Modern Facility Agriculture Technology and Equipment, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China

2. Key Laboratory of Animal Physiology and Biochemistry, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

3. College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** This paper adopts a line based wavelet transform method with the Le Gall 5/3 filter, in which the image lines are read to SRAM line by line from the SD card and write to the SD card after the multi-level transform operation. The wavelet transform method requires low SRAM memory and involves fixed point integer multiplication, addition, shift operation only. Applying the method to a 256 pixels × 256 pixels gray image of piglets. experimental results show that the SRAM cost of the method is 3.968 KB and the time cost is 8.718 s with a reasonable cost of the arithmetic operation. This study establishes the foundation for the wavelet transform image compression on the image sensor nodes, and makes it possible to transmit the images of agriculture over the low bandwidth WMSN efficiently.

**Key words:** Multimedia sensor network Image compression Low memory Line based wavelet transform Le Gall 5/3 filter