

根据贝叶斯准则,给定一个立体图像对  $I = \{I_L, I_R\}$ ,  $I_L$  和  $I_R$  分别表示左图像和右图像,  $D, L, O$  的联

合后验概率为<sup>[5]</sup>:

$$P(D, L, O | I) = \frac{P(I | D, L, O)P(D, L, O)}{P(I)} \quad (1)$$

于是, 立体匹配问题转化为 MRF 的最大后验概率 (MAP) 的求取问题。通过定义兼容函数  $\Psi(\cdot)$  和  $\Phi(\cdot)$ , MRF 的联合概率可写为<sup>[6]</sup>:

$$p(x_1, x_2, \dots, x_N, y_1, y_2, \dots, y_N) = \prod_{(i,j)} \Psi(x_i, x_j) \prod_s \Phi(x_s, y_s) \quad (2)$$

其中  $N$  是结点的编号,  $(i, j)$  表示一对相邻的结点,  $x_s$  是结点  $s$  的状态变量,  $y_s$  是表示灰度差的状态变量,  $\Psi(x_i, x_j)$  是相邻的结点  $i, j$  的状态变量的兼容函数,  $\Phi(x_s, y_s)$  是结点  $s$  的匹配兼容函数。对公式 (2) 取负对数得到能量表达式:

$$E(x_1, x_2, \dots, x_N, y_1, y_2, \dots, y_N) = \sum_{(i,j)} -\log \Psi(x_i, x_j) + \sum_s -\log \Phi(x_s, y_s) \quad (3)$$

在文献[7]中, 能量表达式为:

$$E(x_1, x_2, \dots, x_N, y_1, y_2, \dots, y_N) = \sum_{(i,j)} V(x_i, x_j) + \sum_s D(x_s, y_s) \quad (4)$$

其中  $V(\cdot)$  和  $D(\cdot)$  是能量函数, 能量函数  $V(\cdot)$  一般采用 Potts 模型<sup>[6]</sup>,  $D(\cdot)$  一般采用基于灰度差的代价函数。一种鲁棒性能较好的代价函数为<sup>[7]</sup>:

$$F(x, d_s, I) = \min\{\bar{d}(s, s', I)/\sigma_f, \bar{d}(s', s, I)/\sigma_f\} \quad (5)$$

$$\bar{d}(s, s', I) = \min\{|I_L(s) - I_R(s')|, |I_L(s) - I_R(s')|, |I_L(s) - I_R^+(s')|\} \quad (6)$$

其中  $s'$  是左图像中点  $s$  视差为  $d_s$  时右图像中对应的点,  $I_L(s)$  是点  $s$  的灰度值,  $I_R(s')$  是点  $s'$  和其左邻点的灰度线性插值中值,  $I_R^+(s')$  是点  $s'$  和其右邻点的灰度线性插值中值。 $\sigma_f$  是需要估计的噪声方差,  $\bar{d}(s', s, I)$  是  $\bar{d}(s, s', I)$  的对称版本。

## 2 颜色距离构建代价函数

传统 MRF 方法的代价函数只利用了图像的灰度信息, 文中利用图像颜色空间的信息构建匹配代价函数, 并选取了两种模型差异较大的颜色空间 RGB 和 HSI。

在 RGB 模型中, 颜色距离可以用欧氏距离表示:

$$d(c_1, c_2) = ((R_1 - R_2)^2 + (G_1 - G_2)^2 + (B_1 - B_2)^2)^{1/2} \quad (7)$$

其中  $c_1, c_2$  表示两种颜色,  $R, G, B$  是 RGB 空间颜色分量。从而基于 RGB 颜色的匹配代价函数表示为:

$$C_{\text{RGB}}(s, s') = k((R_s - R_{s'})^2 + (G_s - G_{s'})^2 + (B_s - B_{s'})^2)^{1/2} \quad (8)$$

其中  $s, s'$  分别表示左、右图像中待匹配的点,  $k$  是比例系数, 用来调整匹配代价的范围。

在 HSI 模型中, 颜色距离不适合用欧氏距离表示, 通常表示为<sup>[4]</sup>:

$$d(c_1, c_2) = \sqrt{(I_1 - I_2)^2 + S_1^2 + S_2^2 - 2S_1S_2\cos\theta} \quad (9)$$

$$\theta = \begin{cases} |H_1 - H_2| & \text{if } |H_1 - H_2| \leq \pi \\ 2\pi - |H_1 - H_2| & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

其中  $c_1, c_2$  表示两种颜色,  $H, S, I$  是 HSI 空间的颜色分量, 类似于 RGB 空间可以得到 HSI 空间的匹配代价函数  $C_{\text{HSI}}(\cdot)$ 。

为了使用信度传播算法, 必须将代价函数转化为兼容函数, 以 RGB 空间为例, 转换公式为<sup>[6]</sup>:

$$\Phi(s, s') = e^{-C_{\text{RGB}}/D} \quad (11)$$

其中  $s, s'$  表示左右图像中待匹配的点,  $D$  是常数。注意, 这里的兼容函数  $\Phi(s, s')$  和公式 (2) 中的  $\Phi(x_s, y_s)$  是等价的,  $s'$  是像素点  $s$  视差为  $x$  时右图像中对应的点。得到兼容函数以后就可以利用信度传播算法来进行能量最小化。

## 3 信度传播算法

信度传播算法是一种在网络中传递消息的推理算法, 在马尔可夫网络中消息的传递如图 2 所示<sup>[5]</sup>。

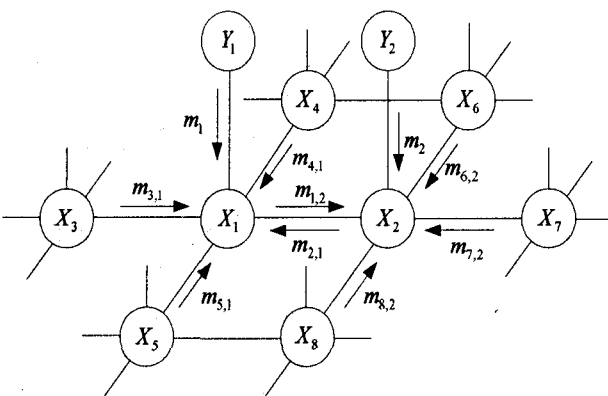


图 2 马尔可夫网络消息传播

图 2 中  $\{x_s\}$  是隐变量,  $\{y_s\}$  是观测变量。 $(m_{s,t})$  表示从结点  $s$  传递给结点  $t$  的消息。

信度传播算法有两种: 和 - 积 (Sum - Product) 和最大 - 积 (Max - Product)。和 - 积计算每个结点的边缘分布概率, 而最大 - 积计算整个 MRF 的最大后验概率<sup>[6]</sup>, 所以文中采用最大 - 积算法。消息更新表达式为<sup>[5]</sup>:

$$m_{s,t}(x_t) =$$

$$\alpha \max_{x_t} \Psi(x_s, x_t) \Phi(x_s, y_s) \prod_{k \in N(s) \setminus t} m_{k,s}(x_s) \quad (12)$$

其中  $s, t$  是相邻的结点,  $m_{s,t}(x_t)$  表示从  $s$  传递给  $t$  的消息,  $\Psi(x_s, x_t)$  和  $\Phi(x_s, y_s)$  是兼容函数,  $N(s)$  表示  $s$  的邻域,  $\alpha$  是归一化常数。

信度传播算法的消息传播方式也有两种:同步传播和加速传播。在同步传播方式中,每个结点计算传递给各自邻域接点的消息,当每个结点计算完成之后,消息也就传播到每一个结点了,然后用于计算下一次迭代中的消息;在加速传播方式中,消息只沿一个方向传播,并且马上更新各个结点的消息。

结点的消息更新后,下一步就是计算各个结点的信度,计算信度的公式为:

$$b_s(x_s) = \alpha \Phi(x_s, y_s) \prod_{k \in N(s)} m_{k,s}(x_s) \quad (13)$$

其中  $\Phi(x_s, y_s)$  是兼容函数,  $m_{k,s}(x_s)$  是结点  $k$  传递给结点  $s$  的消息,  $N(s)$  表示  $s$  的邻域,  $\alpha$  是归一化常数。结点信度计算出来之后,就可以计算该结点的最大可能视差值,公式为:

$$x_s^{MAP} = \arg \max_{x_k} b_s(x_k) \quad (14)$$

其中 MAP 是最大后验概率,  $x_k$  表示结点的所有可能视差值。

## 4 实验结果与分析

采用立体匹配经典测试图像 Tsukuba 进行实验,实验平台为 Matlab7.0。

实验 1 比较信度传播算法中的两种消息传播方式:同步传播方式和加速传播方式。实验采用 HSI 颜色距离构造的代价函数,比例系数  $k = 1$ ;Potts 模型参数:梯度域值  $\Delta I = 4$ ,模型参数  $P = 4, S = 20$ ;兼容函数转换公式(11)中参数  $D = 50$ 。实验结果如图 3 所示。

图 3 中,(a)、(c)、(e)分别是同步传播方式下迭代 1、8、32 次的结果,(b)、(d)、(f)是加速传播方式下迭代 1、4、8 次的结果。可以看出,同步传播方式收敛很慢,而加速传播方式只需迭代较少次数就可以收敛到较好的结果。从同步传播和加速传播的消息更新机制可以知道,在宽度为  $W$  的图像中,消息从一边传递到另一边,同步传播需要  $W$  次迭代,而加速传播只需要 1 代,因而加速传播收敛较快。另外,加速传播方式不需要保存上次迭代的消息,存储空间只需要同步传播方式的一半。

实验 2 分别采用基于灰度差的代价函数、基于 RGB 颜色距离的代价函数( $k = 0.25$ )、基于 HSI 颜色距离的代价函数( $k = 1$ ),对 Tsukuba 进行匹配实验。在实验中,基于灰度差的代价函数采用公式(5)所示函

数( $\delta_f = 4$ ),消息传播采用加速传播方式,Potts 模型和兼容函数转换公式的参数选取与实验 1 相同,迭代 8 次,最后得到的匹配结果如图 4 所示。

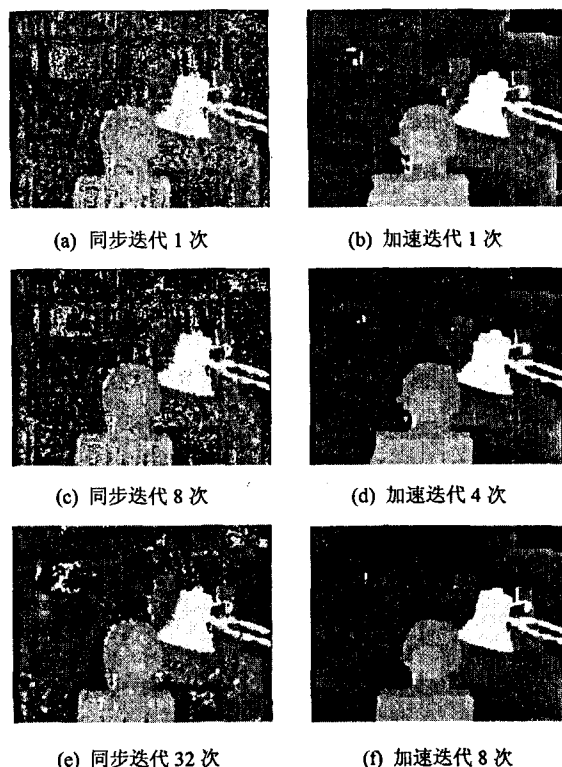


图 3 同步传播和加速传播比较

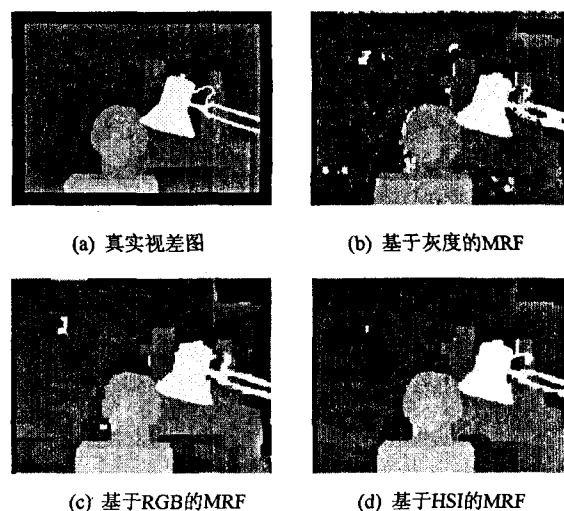


图 4 匹配结果比较

图 4 中,(a)是真实的视差图,(b)、(c)、(d)分别是利用灰度、RGB、HSI 信息得到的视差图。很明显可以看出,利用 RGB 和 HSI 信息得到的视差图比利用灰度信息得到的视差图更加平滑,特别是图像中的边缘区域,利用灰度信息得到的视差图有很大的噪声,而利用 RGB 和 HIS 信息得到的视差图只出现了少量的亮点,由此可知,在边缘不连续区域,基于颜色距离的匹配代价可以提供更丰富的信息,能改善匹配效果。为了从

客观上评价匹配效果的好坏,引入三个评价指标<sup>[8]</sup>:

- \*  $B_{\bar{O}}$  — 非遮挡区匹配误差大于 1 的百分比。
- \*  $B_{\bar{T}}$  — 非纹理区匹配误差大于 1 的百分比。
- \*  $B_D$  — 接近不连续区匹配误差大于 1 的百分比。

$B_{\bar{O}}$ 、 $B_{\bar{T}}$ 、 $B_D$  的表达式分别为:

$$B_{\bar{O}} = \frac{1}{N} \sum_{s \in \bar{O}} (|d(s) - d_T(s)| > 1) \quad (15)$$

$$B_{\bar{T}} = \frac{1}{N} \sum_{s \in \bar{T}} (|d(s) - d_T(s)| > 1) \quad (16)$$

$$B_D = \frac{1}{N} \sum_{s \in D} (|d(s) - d_T(s)| > 1) \quad (17)$$

公式(15)~(17)中  $N$  分别是对应区域的总像素点个数,  $d(s)$  表示像素点的视差估计值,  $d_T(s)$  是像素点的实际视差值。对图 4 中的(b)、(c)、(d) 计算  $B_{\bar{O}}$ 、 $B_{\bar{T}}$ 、 $B_D$  得到结果如表 1 所示。

表 1 误匹配率对比

视差图	$B_{\bar{O}}(\%)$	$B_{\bar{T}}(\%)$	$B_D(\%)$
b(灰度)	2.15	0.82	15.13
c(RGB)	1.72	0.74	9.54
d(HSI)	1.69	0.76	10.32

由表 1 可以看出,利用 RGB 和 HIS 信息的算法在非遮挡区、非纹理区和不连续区的误匹配率均小于利用灰度信息的算法,特别是在不连续区,误匹配率显著降低,显示出基于颜色空间的算法在不连续区的匹配上有很大的优势。

## 5 结束语

对测试图片的匹配比较实验表明,利用颜色信息代替灰度信息构建匹配代价函数,可以为立体图像对的全局匹配提供更丰富的信息。相对于基于灰度的 MRF 立体匹配算法,基于颜色空间的 MRF 算法可

以得到精确度更高的匹配结果。尽管加入颜色信息降低了误匹配率,但是不连续区的误匹配率还是很大,进一步工作可以研究更加有效地处理不连续区匹配的匹配方法。

## 参考文献:

- [1] Cai Xuan - ping, Zhou Dong - xiang, Li Gan - hua, et al. A stereo matching algorithm based on color segments[C]//IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems. Edmonton, Canada: [s. n. ], 2005: 3372 - 3377.
- [2] 顾 征, 苏显渝. 采用色彩相似性约束的立体匹配[J]. 光电工程, 2007, 34(1): 95 - 99.
- [3] 郭龙源, 夏永泉, 杨静宇. 一种改进的彩色图像匹配算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(27): 98 - 104.
- [4] Chambon S, Crouzil A. Color stereo matching using correlation measures[J]. Complex Systems Intelligence and Modern Technological Applications, 2004, 23(5): 520 - 525.
- [5] Sun Jian, Zheng Nan - ning, Shum Heung - yeung. Stereo matching using belief propagation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(7): 1 - 14.
- [6] Tappen M F, Freeman W T. Comparison of graph cuts with belief propagation for stereo, using identical MRF parameters [C]//IEEE International Conference on Computer Vision. Nice, France: [s. n. ], 2003: 900 - 907.
- [7] Boykov Y, Veksler O, Zabih R. Fast approximate energy minimization via graph cuts[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(11): 1222 - 1239.
- [8] Scharstein D, Szeliski R. A taxonomy and evaluation of dense two - frame stereo correspondence algorithms[J]. International Journal of Computer Vision, 2002, 47(1): 7 - 42.

(上接第 27 页)

户程序可以通过 Elastos Service 机制寻找特定的设备驱动实例提供的服务。如果能够获取到驱动程序的服务接口 IDriver, 就可以通过 IDriver 的方法来请求设备的 I/O 服务了。以“驱动程序接口的实现与配置”一文中所举的鼠标驱动为例, 客户程序可以实现如图 6 所示。

## 4 结束语

着重介绍了在嵌入式操作系统 elastos 平台下, 基于 CAR 构件技术的驱动程序开发模型, 它和传统的操作系统驱动程序模型有所不同, 它降低了驱动程序和系统其它部分之间的耦合程度, 而且能够更清晰地描述硬件设备, 使驱动程序更便于使用。

## 参考文献:

- [1] 上海科泰世纪技术有限公司. Elastos 资料大全[EB/OL]. 2006 - 10. <http://www.koretide.com.cn>.
- [2] 上海科泰世纪技术有限公司. CAR 构件技术与编程模型[EB/OL]. 2006 - 10. <http://www.koretide.com.cn>.
- [3] 上海科泰世纪技术有限公司. Elastos 技术白皮书[EB/OL]. 2006 - 10. <http://www.koretide.com.cn>.
- [4] Chen Rong. The Application of Middleware Technology in Embedded OS[C]// Workshop on Embedded System, In Conjunction with the ICYCS(6th). Hangzhou: [s. n. ], 2001: 1 - 3.
- [5] 潘爱民. COM 原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999: 25 - 32.
- [6] Corbet J, Kroah - Hartman G, Rubini A. Linux Device Drivers[M]. 3rd Edition. [s. l.]: O'Reilly, 2005.