

基于改进 Harris 角点提取算法的网格图像破损检测

高庆吉, 徐萍*, 杨璐

(中国民航大学 机器人研究所, 天津 300300)

(* 通信作者电子邮箱 xuping0209@163.com)

摘要:针对周界网格状围栏破损预警问题,提出一种基于改进 Harris 角点的网格图像破损检测算法。传统 Harris 角点提取算法需要对图像中每个像素点计算纵横方向上的一阶导数以及角点响应函数值,算法复杂度高,通过引入灰度“相似度”的参数来计算像素点与其周围像素灰度值的相似程度,从而滤除伪角点,减少 Harris 角点提取时间,最后通过分析角点分布信息来界定破损区域。对移动机器人采集的典型围栏破损图像进行了检测试验,由实验结果可看出,Harris 角点提取时间大大减少,表明该算法有效且满足围栏破损检测实际应用要求。

关键词:周界; 网格图像; 破损检测; 相似度; Harris 角点

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A

Breakage detection for grid images based on improved Harris corner

GAO Qing-ji, XU Ping*, YANG Lu

(Robotics Institute, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: Concerning the breakage warning problem of grid fence, a grid breakage detection algorithm based on improved Harris corner was proposed. As for traditional Harris corner extraction algorithm, the first derivative in vertical and horizontal direction and the corner response function value need to be calculated, and it must be done for each image pixel, which makes this method time-consuming. Therefore, the parameter of gray "similarity" was introduced to demonstrate the gray similarity between pixel and its ambient pixels, through which to filter pseudo corners, reducing the Harris corner extraction time. Then after analyzing the corners' distribution, the breakage areas can be locked. Breakage detection experiments were taken to various fence images taken by robot, and the results indicate that the Harris corner extraction time decreases largely, and the proposed algorithm is effective, meeting the practical application requirements of fence breakage detection.

Key words: perimeter; grid image; breakage detection; similarity; Harris corner

0 引言

一些公共场所,如机场、军事要地、监狱等地方一般采用围栏作为安防设施,这类设施通常采用网状栅栏作为围栏材料,可将此类围栏图像归类为网格图像。对此类图像进行破损区域检测,将为围栏入侵起到及时预警、报警的关键作用。

围栏破损检测方面研究文献较少,而网格图像特征提取方面仍有相关研究,相关算法主要分为两类:一是利用网格构成的单一性提取网格特征,但处理的图像须无背景干扰。比如,文献[1]采用基于隐马尔可夫模型(Hidden Markov Model, HMM)解码的方法提取网格图像中的直线,并应用在文档的表格提取中。二是利用网格变化的规律性提取网格特征,但覆盖在图像上方的网格须是完整的。比如,文献[2]利用网格是由空间中有规律的两组直线交叉形成的这一显著特点,通过计算参数后递推罗列其他直线来提取覆盖在图像上的网状障碍物,应用于图像修复。

鉴于以上问题,考虑周界的环境复杂性和网格图像的灰度变化特征,利用角点提取算法检测网格节点进而提取网格特征是一种新的做法。常用的算法分为两类:基于边缘的方法和基于灰度变化的方法^[3]。前者先提取图像信息中的边缘轮廓,再求角点,操作过程繁杂,Freeman 链码法^[4]、Wang-Brady 方法^[5]等是这类算法中的典型;后者是直接对灰度图像进行角点检测,准确率高,实际应用较多,但算法复杂度高。

如何降低灰度图像角点检测的复杂度是网格信息提取的关键所在。本文在分析经典 Harris 角点检测算法^[6]基础上,提出了灰度“相似度”的概念,描述像素与其邻域内像素的差异,从而去除伪角点,以降低算法复杂度。据此,设计围栏破损检测算法,以期达到较好的实用效果。

1 围栏网格图像处理算法

机器人周界巡逻过程中,拍摄到的图像可能由于天气、视角等原因出现颜色及倾斜变化。通过机场现场拍摄到的周界围栏图像总结出,规则的周界围栏图像在成像角度、光照变化、背景干扰等方面有很大差异。

针对周界围栏图像的上述特点,设计基于改进 Harris 特征的网格图像破损检测算法框图如图 1 所示。

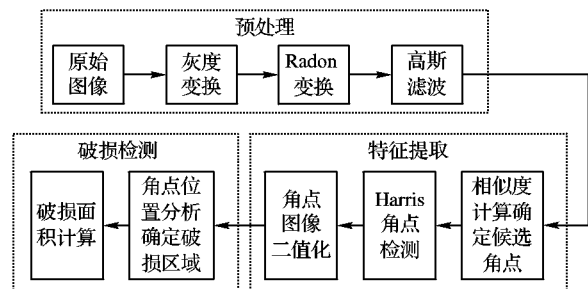


图 1 网格图像破损检测算法框架

收稿日期: 0211-09-22; 修回日期: 2011-11-22。 基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(ZXB2011 A004)。

作者简介: 高庆吉(1966-),男,黑龙江桦川人,教授,博士,主要研究方向:模式识别、人工智能、机器人导航控制; 徐萍(1986-),女,山东临沂人,硕士研究生,主要研究方向:机器视觉导航; 杨璐(1987-),女,陕西西安人,硕士研究生,主要研究方向:机器视觉。

算法由3部分组成:预处理、特征提取和破损检测。预处理包括基于 Radon 变换的图像倾斜校正和高斯滤波去噪。特征提取时,首先计算待检测区域的灰度“相似度”,得到候选角点集;然后进行 Harris 特征提取。破损检测部分通过分析角点分布对破损区域定位并求取破损面积。

1.1 图像预处理

周界巡逻过程中由于环境因素、摄像机角度和运动颠簸等影响,难免造成拍摄的图像存在噪声和畸变,为此,首先对图像进行倾斜校正和滤波去噪。

1) 图像倾斜校正。

关于倾斜校正,文献[7]提出一种基于 Radon 变换的文字图像校正算法,取得了较理想的效果,而且算法简单实用,基于此,本文的倾斜校正将采用 Radon 变换来实现。经编程实现,对围栏网格图像进行倾斜校正处理,效果如图2所示。

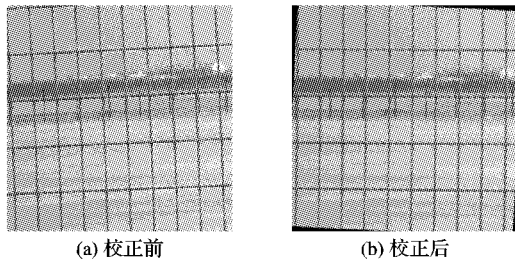


图2 网格图像倾斜校正效果

2) 高斯滤波去噪。

高斯滤波是一种线性平滑滤波,适用于消除高斯噪声,广泛应用于图像处理的减噪过程^[8]。对图像来说,常用二维零均值离散高斯函数作平滑滤波器,函数表达式如式(1)所示。

$$g[x, y] = \exp(- (x^2 + y^2) / 2\sigma^2) \quad (1)$$

对图像进行高斯滤波处理后的效果如图3所示。可以看出,经高斯滤波处理后,原图像的背景噪声部分得到了很好的抑制,便于后面的网格节点的提取。

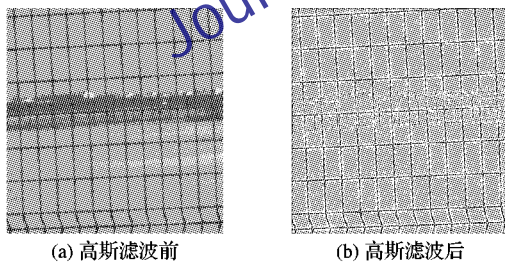


图3 网格图像高斯滤波效果

1.2 Harris 角点特征提取算法及其改进

1.2.1 传统 Harris 角点特征提取方法分析

Harris 角点检测算法是一种基于信号的点特征提取算子,其原理是将所处理目标像素点 (x, y) 向任意方向移动微小位移 (u, v) ,则其灰度改变量可定义为:

$$E(u, v) = \sum_{x, y} w_{x, y} [I_{x+u, y+v} - I_{x, y}]^2 = \sum_{x, y} w_{x, y} [I_x u + I_y v + O(u^2, v^2)]^2 \quad (2)$$

写成矩阵形式,如式(3)~(4)所示。

$$M = \sum_{x, y} w(x, y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} =$$

$$w(x, y) \otimes \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$E(u, v) = [u, v] M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中: $E(u, v)$ 为窗口内的灰度变化度量; $w_{x, y}$ 为窗口函数,一般定义为 $w_{x, y} = \exp(- (x^2 + y^2) / 2\sigma^2)$; I 为图像灰度函数, I_x 为 x 方向的差分, I_y 为 y 方向的差分; $O(u^2, v^2)$ 是移动距离的无穷小量。矩阵 M 是目标像素点的自相关矩阵,它的两个特征值分别为 λ_1, λ_2 ,这两个特征值与矩阵 M 的主曲率成正比,当两个特征值均较小时,表明目标点附近为“平坦区域”;特征值一大一小时,表明特征点位于“边缘”上;只有当两个特征值均较大时,沿任何方向移动均将导致灰度的剧烈变化,表明该点为角点。由此得到 Harris 的角点响应函数:

$$CRF(x, y) = \text{Det}(M) - k \text{Tr}^2(M) \quad (5)$$

其中: $\text{Det}(M)$ 表示矩阵 M 的行列式值, $\text{Tr}(M)$ 表示矩阵 M 的迹, $k \in [0.04, 0.06]$ 。当目标像素点的 CRF 值大于给定的阈值时,该像素点即为角点。

以上角点提取过程,需要对图像中每个像素点计算 x, y 方向上的一阶导数以及 CRF 值,算法较复杂,无法保证实时性,而围栏检测对实时性要求较高,因此,需要对 Harris 角点特征提取算法效率方面进行改进。

1.2.2 Harris 角点特征提取方法的改进

文献[9]在对 Harris 角点检测原理进行详细分析的基础上,针对其在检测精度和效率方面的不足,提出了一种改进 Harris 角点提取算法,基于其较好的实验效果,本文将采用其算法思想,并提出灰度“相似度”的参数来改进 Harris 角点提取过程。

Harris 角点检测是基于图像像素灰度值变化梯度的:角点附近,像素灰度值变化较大,梯度变化亦较大;而在非角点位置邻域里,各点的像素值变化不大,甚至几乎相等,其梯度变化相对也较小。由此出发,定义灰度“相似度”为:检测窗口中心点灰度值与其周围 n 邻域内像素灰度值的相似程度。当采用 3×3 的检测窗口时,一个像素点的灰度相似度计算步骤如下:

- 第1步 将原始图像转化为灰度图像。
- 第2步 计算 3×3 窗口的中心点灰度值 G_c 。
- 第3步 计算相邻点与中心点灰度值之差 ΔG 。
- 第4步 判断 ΔG 是否小于阈值 T ,满足则转第5步;否则转第6步。
- 第5步 灰度相似度 $nLike$ 加1。
- 第6步 判断是否计算完成相邻8个像素,满足则算法结束;否则转第3步。

选择 3×3 的检测窗口,则: $0 \leq nLike \leq 8$ 。 $nLike$ 值所代表的灰度相似度分以下几种情况:

1) $nLike = 8$,表示当前中心像素点的8邻域范围内都是与之相似的像素点,其邻域范围内的梯度变化不会很大,角点检测时,应该排除此类像素点。

2) $nLike = 0$,表示当前中心像素点的8邻域范围内没有与之相似的像素点,所以该像素点为孤立像素点或噪声点,角点检测时,也应该排除此类像素点。

3) $n_{Like} = 7$, 可以归为图 4 中的两种情况, 其他情形都可以通过旋转来得到(图中黑色区域仅表示与中心像素相似, 而两个黑色区域像素可能相似, 也可能不相似)。对于图 4(a)中可能的角点是中心像素点的正上方像素点; 图 4(b)中可能的角点是中心像素点右上方像素点。这种情况下, 中心像素不应该作为角点的候选点。

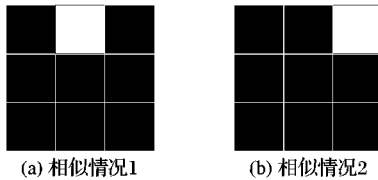


图 4 $n_{Like} = 7$ 时像素相似情况

4) $n_{Like} = 1$. 可以归为图 5 中的两种情况(图中白色区域仅表示与中心像素不相似, 而两个白色区域像素可能相似, 也可能不相似), 在这两种情况下, 中心像素点不可能为角点。

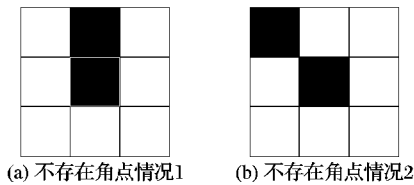


图 5 $n_{Like} = 1$ 时像素相似情况

5) $2 \leq n_{Like} \leq 6$. 将其列入候选角点之列。

基于以上灰度相似度计算方法, 在 Harris 角点提取前, 滤除图像中的伪角点。这样改进后, 虽然增加了灰度相似度的计算, 但角点提取过程需要计算 CRF 值的像素点个数大大减少。经实验统计得出, 对角点提取过程进行改进后, 剔除像素点个数占总像素点个数 60% 以上。

1.3 算法实现

设机场围栏的规格为 $m \times n$, 即同一行相邻两个网格节点之间的距离是 m , 根据 m 变化就可以判断出网格节点是否断裂。由于检测到的 Harris 角点就是网格节点, 所以利用检测到的角点的空间位置关系就可以推断出被破坏的网格节点。围栏网格图像破损检测算法流程如下:

- 第 1 步 进行网格图像灰度相似度计算, 滤除伪角点。
- 第 2 步 进行 Harris 角点检测。
- 第 3 步 判断行起始角点坐标值与相邻行起始角点坐标值之差是否满足阈值 t_1 , 满足转第 4 步; 否则转第 5 步。
- 第 4 步 有效角点行数 n_{Useful} 加 1, 记录有效行。
- 第 5 步 判断是否是最后一行, 满足则转第 6 步; 否则转第 3 步。
- 第 6 步 计算有效行中相邻角点之间距离, 并计算距离平均值 D_a 。
- 第 7 步 计算有效行相邻角点之间距离与 D_a 之商, 并找出最大值 M_d 。
- 第 8 步 判断 M_d 是否满足阈值 t_2 , 满足则转第 9 步; 否则转第 10 步。
- 第 9 步 破损行数 n_{Break} 加 1, 并记录破损行。
- 第 10 步 有效行判断是否完毕, 完毕则转第 11 步; 否则转第 7 步。
- 第 11 步 判断 n_{Break} 是否满足阈值 t_3 , 满足则转第 12 步; 否则转第 13 步。

第 12 步 取破损行破损节点外接矩形并计算破损面积。

第 13 步 结束。

2 实验与分析

2.1 实验环境

为了验证算法的有效性和实用性, 选取 30 幅图像建立周界网格图像库, 其中包含不同时刻、不同气象条件下不同区域的完整和破损两种机场周界网格图像。较具有代表性的图像如图 6 所示。

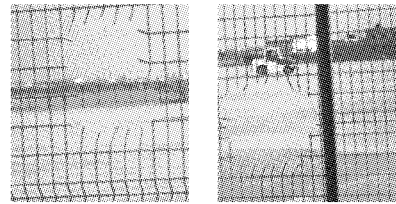


图 6 不同环境下的围栏网格图像

2.2 实验结果与分析

首先为了验证改进的 Harris 特征提取算法的效果, 与传统提取方法进行了对比。选用 9×9 矩形高斯窗口和 Prewitt 算子计算 Harris 特征, 对 6 幅围栏网格图像进行 Harris 特征提取对比实验。所花费的平均时间对比结果如表 1 所示。

表 1 改进前后角点提取平均消耗时间对比

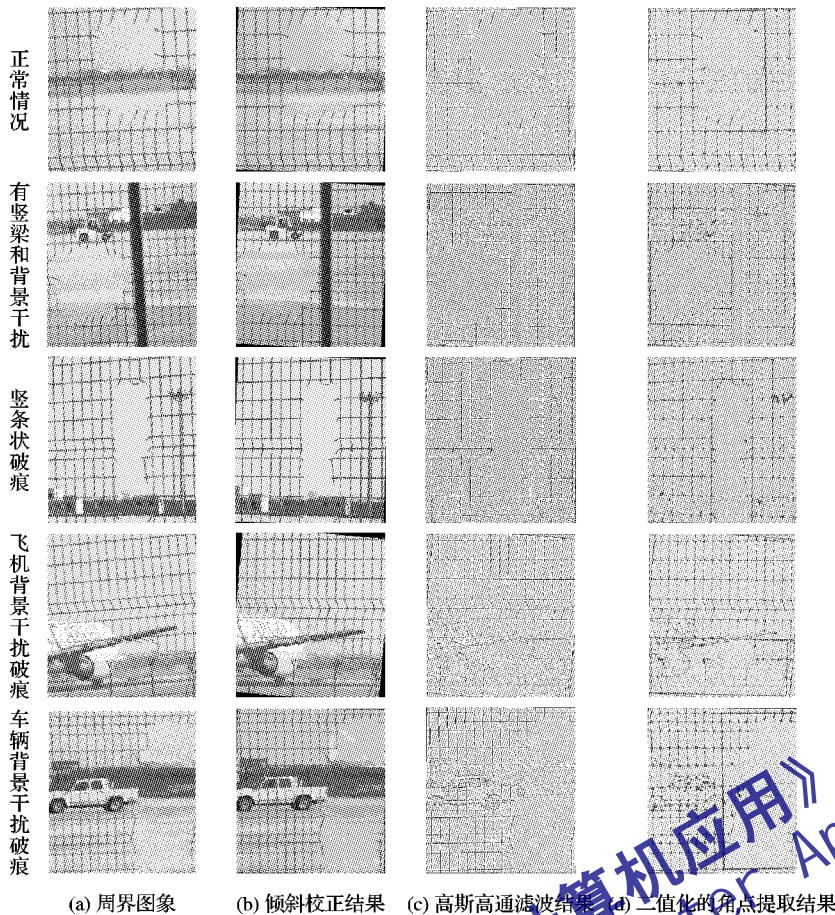
图像 ID	改进前	改进后
1	7.47	1.27
2	7.46	1.20
3	7.66	1.70
4	7.59	2.27
5	7.50	2.03
6	7.47	1.23

可以看出算法改进后角点特征提取消耗时间约为原算法的 21.58%, 大大缩短了计算时间。基于此, 对典型围栏破损图像进行破损检测实验, 部分图像实验结果如图 7 所示。本次实验中 t_1 取 6, t_2 取 2.5, t_3 取 4。图 7 中, 图(a)为原始图像; 图(b)为基于 Radon 变换的倾斜校正效果; 图(c)列为经过高斯滤波后的结果; (d) 列部分为 Harris 角点检测以及破损检测结果, 角点特征的提取比较准确, 同时对于破损区域的定位较准确。

对 30 幅图像进行处理之后实验统计结果表明, 图像破损检测正确率达到 95%, 破损面积求取误差保持在 5% 以内。可以看出, 本文算法具有较强的适应性, 可以较可靠地定位破损区域, 对破损面积的求取误差基本能够满足围栏破损检测要求。

3 结语

本文提出了一种基于改进 Harris 角点特征提取算法的网格图像破损检测算法, 提出了灰度“相似度”概念描述像素与其邻域内像素的差异, 并据此去除伪角点, 降低了算法复杂度, 角点提取时间可以减少一半以上。所研究的围栏网格图像破损检测算法, 能够保证较高的围栏破损检测正确率, 并且为围栏入侵的可疑目标判定和动态目标跟踪的研究奠定了基础。



(a) 周界图像 (b) 倾斜校正结果 (c) 高斯高通滤波结果 (d) 二值化的角点提取结果

图7 部分图像实验结果

参考文献:

- [1] ZHENG YEFENG, LI HUIPING, DOERMANN D. A parallel line detection algorithm based on HMM decoding[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(5): 777 - 792.
- [2] 沈玉峰, 汪继文, 林胜华. 网格提取的图像修复方法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(20): 173 - 174.
- [3] 张坤华, 王敬儒, 张启衡. 多特征复合的角点提取方法[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7(4): 319 - 324.
- [4] 刘韶军, 王库. 基于自适应链码的棉种周长测量[J]. 计算机应用, 2008, 28(11): 2881 - 2883.
- [5] WANG H, BRADY M. Real time corner detection algorithm for motion estimation[J]. Image and Vision Computing, 1995, 13(9): 695 - 703.
- [6] BRUCE N D B, KORNPROBST P. Harris corners in the real world: a principled selection criterion for interest points based on ecological statistics [C]// CVPR 2009: IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2009: 2160 - 2167.
- [7] JIANXIONGDONG, PONSOND, KRZYSAK A. Cursive word skew/slant corrections based on Radon transform[C]// IEEE International Conference on Document Analysis and Recognition. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2005: 478 - 483.
- [8] 朱冰, 祝小平, 余瑞星. 一种基于改进高斯滤波器的水平集停止项函数[J]. 宇航学报, 2009, 29(5): 1652 - 1655.
- [9] 王葳, 唐一平, 任娟莉. 一种改进的Harris角点提取算法[J]. 光学精密工程, 2008, 16(10): 1995 - 2001.
- [10] 戴静兰, 陈志杨, 叶修梓. ICP算法在点云配准中的应用[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(3): 517 - 521.
- [11] YANG SHEN, SHEN XUKUN, QI YUE, et al. An automated registration method for range images[C]// Proceedings of the 2nd International Conference on Technologies for E-Learning and Digital Entertainment. Berlin: Springer-Verlag, 2007: 772 - 783.
- [12] BASDOGAN C, OZTIRELI A C. A new feature based method for robust and efficient rigid-body registration of overlapping point clouds[J]. The Visual Computer, 2008, 24(7/8/9): 679 - 688.
- [13] 辛伟, 普杰信. 点到邻域重心距离特征的点云拼接[J]. 中国图象图形学报, 2011, (5): 886 - 891.
- [14] 周儒荣, 张丽艳, 苏旭, 等. 海量散乱点的曲面重建算法研究[J]. 软件学报, 2001, 12(2): 249 - 255.
- [15] 朱延娟, 周来水, 张丽艳. 散乱点云数据配准算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(4): 475 - 481.
- [16] 王葳, 唐一平, 任娟莉. 一种改进的Harris角点提取算法[J]. 光学精密工程, 2008, 16(10): 1995 - 2001.
- [17] 王葳, 唐一平, 任娟莉. 一种改进的Harris角点提取算法[J]. 光学精密工程, 2008, 16(10): 1995 - 2001.

(上接第765页)

参考文献:

- [1] BESL P J, MCKAY N D. A method for registration of 3D shapes [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(2): 239 - 256.
- [2] CHEN Y, MEDIONI G. Object modeling by registration of multiple range images[J]. Image and Vision Computing, 1992, 10(3): 145 - 155.
- [3] GREGORY C, SANG W, DAVID K. ICP registration using invariant features[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(1): 90 - 102.
- [4] WANG SEN, WANG YANG, JIN MIAO, et al. Conformal geometry and its applications on 3D shape matching, recognition, and stitching[J]. Medical Engineering & Physics, 2007, 29(7): 1209 - 1220.
- [5] CHEN XIN, SCHMITT F. Intrinsic surface properties from surface triangulation[C]// Proceedings of the European Conference on Computer Vision. Berlin: Springer-Verlag, 1992: 739 - 743.
- [6] MEYER M, DESBRUN M, SCHRODER P, et al. Discrete differential-geometry operators for triangulated 2-manifolds[J]. Visualization and Mathematics, 2002, 3(2): 52 - 58.
- [7] TAUBIN G. Estimating the tensor of curvature of a surface from a polyhedral approximation[C]// Proceedings of the Fifth International Conference on Computer Vision. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1995: 902 - 908.