

基于 WiFi 的分布式监视场景拼接系统^①

曹健明, 惠 飞, 穆柯楠, 郭兰英

(长安大学 信息工程学院, 西安 710074)

摘 要: 随着数字化信息技术的不断发展, 监视系统已经成为各行业领域中的重要应用. 随着 WiFi 等无线技术的发展, 实现了视频数据的无线传输, 因其特有的便捷性将传统的有线监视系统取而代之. 图像拼接是目前图像处理的一项热门技术, 将两幅或者多幅具有重叠区域的图像拼接成一幅无缝隙高分辨率的图像. 本论文结合 WiFi 无线技术和图像拼接技术的优势, 提出了基于 WiFi 的分布式监视场景拼接系统, 多个客户端采集的图像通过 WiFi 无线网络传输到服务器, 服务器对传输过来的图像采用 SIFT 算法和 RANSAC 算法完成拼接, 最终实现了宽场景监视. 实验结果表明该系统可以有效地实现监视场景拼接.

关键词: 监视系统; WiFi 无线技术; 图像拼接; SIFT 算法

Distributed Monitoring Scene Splicing System Based on WiFi

CAO Jian-Ming, HUI Fei, MU Ke-Nan, GUO Lan-Ying

(School of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: With the continuous development of digital information technology, the monitoring system has become the important application in the field of various industries. With the development of wireless technology such as WiFi, it is able to realize the wireless transmission of video data, because of its unique convenience it will replace the traditional cable monitoring system. Image mosaicing is a popular image processing technology, which means spicing two or more images with overlapped area into a seamless high-resolution image. This paper combines the advantage of WiFi wireless technology with the advantage of image splicing technology. It proposes the distributed monitoring scene mosaics system based on WiFi. This system makes multiple clients can transmit the collected images through WiFi network to the server, the server process the transmitted image by using SIFT algorithm and RANSAC algorithm to complete mosaicing. Finally, we achieve wide scene monitoring. The experimental results show that the system can effectively realize monitoring scene mosaicing.

Key words: monitoring system; WiFi wireless technology; image mosaicing; SIFT algorithm

随着数字化信息技术的不断发展, 监视系统已经成为各行业领域中的重要应用. 传统的监视系统大部分需要接入有线网路才能实现监控的功能, 在空间和传输方式上有一点局限性, 监控设备不可能面面俱到. 随着无线技术的发展, 无线传输越来越受到各行各业的喜爱, 无线图像传输作为一个特殊使用方式也逐渐被各行业所看好, 因为其安装方便、灵活性强、性价比高等特性使得更多行业的监控系统采用无线传输方式^[1]. 无线监控技术已经在现代化小区、交通、运输、

水利、航运、治安、消防等领域得到了广泛的应用. 图像拼接是将两幅甚至多幅存在重叠区域的图像进行合并, 并生成一个完整的无缝大范围场景^[2,3]. 现在, 图像拼接技术已经成为计算机图形学的研究焦点, 被广泛应用于空间探测、遥感图像处理、医学图像分析、视频压缩和传输、虚拟现实技术、超分辨率重构等领域^[4]. 图像配准和图像融合是图像拼接的两个关键技术. 其中图像配准计算量一般非常大, 且是图像融合的基础, 因此图像拼接技术很大程度上取决于图像配

① 基金项目: 教育部博士点基金(20120205120002); 交通部信息化专项(2012-364-812-105)

收稿时间: 2014-03-25; 收到修改稿时间: 2014-04-24

准. 文献[5-8]介绍了目前国内外广泛采用的四类图像匹配算法.

本论文主要由两部分组成: 第一, 基于 WiFi 的无线网络传输, 客户端实现图像的采集和显示; 客户端与服务端之间的连接和图像数据传输. 第二, 服务端拼接具有重叠区域的图像, 实现宽场景监视.

1 基于WiFi的无线网络传输系统

WiFi 是当前流行的一种无线局域网技术, 具有组网方便, 易于扩展等特点. 本论文采用的基于 WiFi 的无线网络传输系统大致可分为三个部分: 客户端、WiFi 无线传输网络和服务器, 采用 C/S 结构. 如图 1 所示.

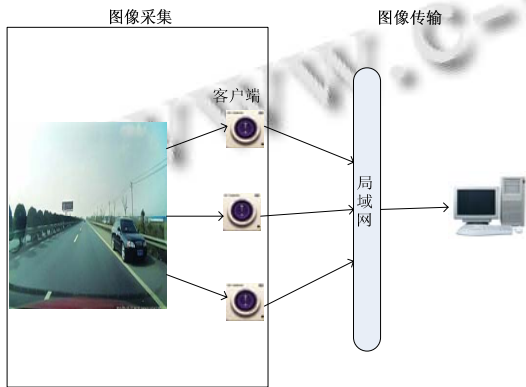


图 1 基于 WiFi 无线网络传输系统结构图

(1)客户端. 本系统客户端由 STM32 开发板、OV7670 摄像头模块和 ATK-RM04 模块(WiFi 模块)组成. 终端客户端软件主要功能包括: 图像的采集、保存、显示和传输.

(2)WiFi 无线局域网. 图像采集后, 不经压缩直接通过 WiFi 无线局域网传输到服务器.

(3)服务器. 本系统的服务器为 PC 机. 服务器软件主要功能包括: 图像接收、拼接.

1.1 图像采集与显示

STM32 开发板板载了一个摄像头接口(p8),该接口可以用来连接 OV7670 摄像头模块, 使用 STM32 驱动 OV7670 摄像头模块, 实现摄像头功能.

1.1.1 OV7670 摄像头模块简介

OV7670 是 OV 公司生产的一颗 1/6 寸的 CMOS VGA 图像传感器. 该传感器体积小、工作电压低, 提供单片 VGA 摄像头和影像处理器的所有功能. 通过

SCCB 总线控制, 可以输出整帧、子采样、取窗口等方式的各种分辨率 8 位影像数据. 最高达到 30 帧/秒. 用户可以完全控制图像质量、数据格式和传输方式. OV7670 的图像输出格式有 VGA(分辨率 640*840)、QVGA(分辨率 320*240)、QQVGA(分辨率 160*120).

1.1.2 OV7670 模块数据的存储与读取

OV7670 的图像数据输出是在 PCLK(像素时钟), VSYNC(帧同步信号)和 HREF/HSYNC(行同步信号)控制下进行的. OV7670 的像素时钟最高可达到 24Mhz, 本系统并不直接读取 OV7670 的数据, 而是通过 FIFO 读取, OV7670 模块自带了一个 FIFO 芯片(AL422B), 用于暂存图像数据, 足够存储 2 帧 QVGA 的图像数据. OV7670 摄像头模块存储与读取一帧图像数据的过程如图 2 所示.

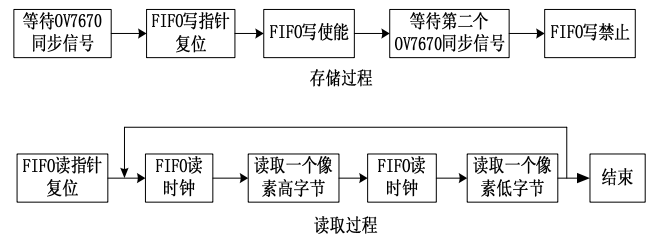


图 2 OV7670 存储与读取一帧图像

1.1.3 基于 OV7670 模块图像采集与显示

本系统客户端软件实现是基于 STM32 单片机通过软件设置 OV7670 摄像头的内部参数采集图像、并将采集的图像通过 FIFO 芯片存储在 SD 卡中, 随后将储存

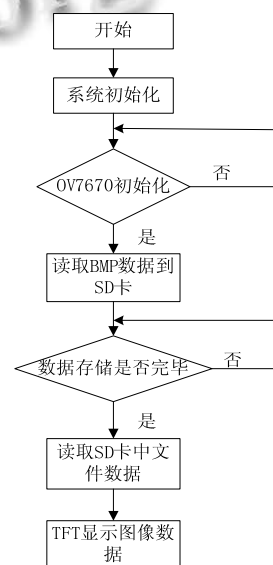


图 3 图像采集与显示流程图

在 SD 里的图像数据通过 FIFO 芯片显示在液晶显示屏 TFT 上. 其具体实现使用 STM32 的开发软件 RVMDK, 设计程序, 并将程序下载到 STM32 中, 每次上电或者系统复位后开始执行程序, 流程图如图 3 所示.

考虑到多节点分布式网络通信的复杂性, 试验阶段只使用了两个摄像头. 本系统两个客户端上电后, 运行客户端软件, 实现了图像的采集. 将图像以 BMP 格式保存在 SD 卡中, 并显示在客户端软件界面上. 考虑到后面待拼接图像特性对图像拼接算法的复杂度的影响, 试验阶段两个相机采集的两图像是低噪声的具有重叠区域(40%左右)的图像. 为了分析该系统的性能, 本论文分别采集 OV7670 的三种不同图像格式.

1.2 图像传输

本系统 STM32 开发板通过串口连接 ATK-RM04 WIFI 模块, 驱动 ATK-RM04 模块, 实现客户端和服务端之间的连接, 以及图像的传输.

1.2.1 ATK-RM04 模块简介

ATK-RM04 是 ALIENTEK 推出的一款高性能 UART-ETH-WIFI(串口 - 以太网 - 无线网) 模块. ATK-RM04 模块采用串口(RS232/LVTTL)与 MCU(或其他串口设备)通信, 内置 TCP/IP 协议栈, 能够实现用户串口、以太网、无线网(WIFI)3 个接口之间的转换. ATK-RM04 模块支持 RS232 串口和 LVTTL 串口, 支持 DC6V~16V 宽电压工作范围, 支持串口转以太网、串口转 WIFI STA、串口转 WIFI AP 等连接形式, 从而快速构建串口-网络数据传输方案, 方便你的设备使用互联网传输数据. 模块串口工作有两种模式: AT 指令模式(用于对模块进行配置)和透传模式(用于数据传输).

1.2.2 ATK-RM04 模块使用

由于本系统 STM32 开发板作为客户端在 WIFI 环境下向服务器发送图像, 因此 ATK-RM04 模块采用串口无线接入点(COM-WIFIAP)TCP 客户端模式. 具体实现 STM32AT 通过串口向 WIFI 模块发送指令, 配置模块. 使用的主要 AT 指令如表 1 所示.

表 1 串口无线接入点 TCP 客户端配置

发送指令	功能
at+netmode=3	配置模块为 COM-WIFI AP 模式
at+remotepro=tcp	TCP 协议
at+mode=client	客户端
at+remoteip=10.190.1.17	服务器 ip 地址

at+remoteport=2024	服务器端口
at+net_commit=1	提交网络参数
At+recon=1	重启串口服务, 将进入透传模式

1.2.3 基于 ATK-RM04 模块图像传输

ATK-RM04 模块配置成功后连接服务器, 进行图像数据的传输, 具体实现过程由 Socket(套接字)来实现. 基于 TCP/IP 协议的面向连接 Socket 通信流程如图 4 所示.

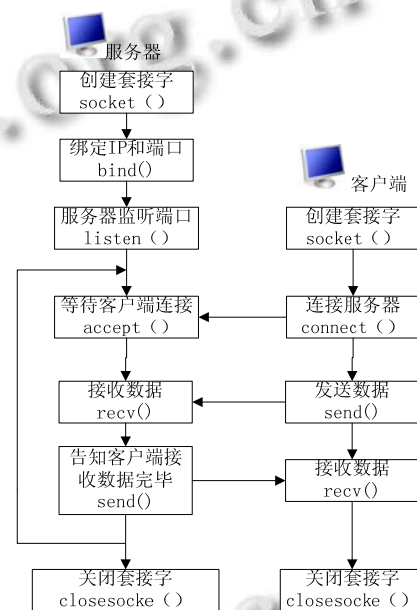


图 4 Socket 通信流程

运行服务器软件(采用 MFC 编写工具)和两个客户端软件, 客户端软件手动输入 IP 地址和端口, 建立服务器与客户端的连接, 客户端将采集的图像通过 WiFi 无线网络传输到服务器, 实现了服务器与客户端之间的数据通信. 服务器接收到两幅低噪声具有重叠区域的图像, 并将其保存在软件目录下, 为下一步工作图像拼接做准备.

2 图像拼接

2.1 图像拼接过程

本论文采用主要典型的 SIFT 算法. 在该算法中普遍采用 RANSAC 算法来消除误匹配并求解变换矩阵^[9,10]. 基于传统的 RANSAC 算法不能完整的消除误匹图像拼接的具体流程如图 5 所示.

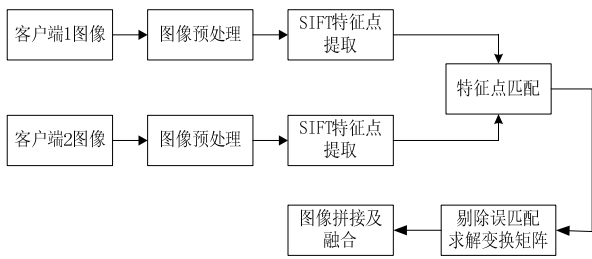


图 5 图像拼接流程

对服务器收到的两幅具有重叠区域的图像，进行简单的预处理(如平滑、去噪)后，利用 SIFT 算法提取两幅图像各自的特征点，并找到两幅图像之间的匹配点对，然后利用一种基于几何约束的 RANSAC 改进算法剔除错误的匹配点，从而计算出变换矩阵 H，定位两幅图像的重叠部分，最后进行图像拼接与融合^[11]。

2.2 基于 SIFT 算法的图像特征点的检测

SIFT 算法主要包括以下步骤^[12]：

1) 建立尺度空间并检测极值点

给定图像 $I(x, y)$ ，其对应的尺度空间表示 $L(x, y)$ 可以由一个高斯函数 $G(x, y, e)$ 和图像 $I(x, y)$ 进行卷积

$$L(x, y, e) = G(x, y, e) * I(x, y) \tag{1}$$

其中 (x, y) 是空间坐标， e 是尺度坐标，或尺度空间因子。为了更有效的在尺度空间检测到稳定的关键点，也为了缩小时间和空间复杂度，在上述的操作作了一个改进：即提出了高斯差分尺度空间(DOG)

$$D(x, y, e) = (G(x, y, ke) - G(x, y, e)) * I(x, y) = L(x, y, ke) - L(x, y, e) \tag{2}$$

其中 k 代表某一层图像的 k 倍尺度图像。

精确确定关键点的位置和尺度，同时剔除低对比度的关键点和不稳定的边缘影响点。

2) 关键点方向的分配

为了使描述符具有旋转不变性，需要利用图像的局部特征给每一个关键点分配一个方向。利用关键点邻域像素的梯度及方向分布的特性，可以得到梯度模值和方向，计算方法如(3)式：

$$\begin{cases} m(x, y) = \sqrt{(L(x+1, y) - L(x-1, y))^2 + (L(x, y+1) - L(x, y-1))^2} \\ \alpha(x, y) = \tan^{-1} \frac{L(x, y+1) - L(x, y-1)}{L(x+1, y) - L(x-1, y)} \end{cases} \tag{3}$$

每个关键点具有 3 个信息：位置、所在尺度和方向，由此可以确定 1 个 SIFT 特征区域。

3)生成特征描述符

接下来就是为每个关键点建立一个描述符，使其不随各种变化而改变，比如光照变化、视角变化等等。首先将坐标轴旋转为关键点的方向，以确保旋转不变性。以关键点为中心取 8×8 的窗口。然后在每 4×4 的小块上计算 8 个方向的梯度方向直方图，绘制每个梯度方向的累加值，即可形成一个种子点，一个关键点由 2×2 共 4 个种子点组成，每个种子点有 8 个方向向量信息。实际计算过程中，为了增强匹配的稳健性，需要对每个关键点使用 4×4 共 16 个种子点来描述，这样对于一个关键点就可以产生 128 个数据，即最终形成 128 维的 SIFT 特征向量。

4) 特征点匹配

生成两幅图像的特征向量后，建立 K-D 树数据结构，采用关键点特征向量的欧几里德距离作为两幅图像中关键点相似性的判定度量。取一幅图像中的某个关键点，并找出其与另一幅图像中距离最近的前两个关键点，在这两个关键点中，如果最近的距离除以近距离小于某个阈值 T ，则接受这一对匹配点。降低这个比例阈值，匹配点数量会减少，但匹配过程更稳定。反之，匹配点数量会增多，但稳定性随之会变得稍差。

2.3 基于几何约束的改进 RANSAC 算法

在上述步骤中实现了特征点的匹配，在实际的匹配过程中我们很难保证匹配出的所有点对是完全正确的，当误匹配存在时，我们很难得到准确图像间的变换矩阵，进而影响图像拼接的结果。假设给定两幅图像间的变换。

$$\begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 & m_2 & m_3 \\ m_4 & m_5 & m_6 \\ m_7 & m_8 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} \tag{4}$$

其中 (x_i, y_i) 和 (x'_i, y'_i) 是匹配图像的特征点对。理论上应该至少选择四对不共线的匹配点计算出 $m_1 \sim m_8$ ，进而得到变换矩阵 H。本文采用基于几何约束的改进 RANSAC 算法来剔除误匹配并找出最佳的 4 对特征点，计算出变换矩阵 H。论文[11]详细介绍了改进的 RANSAC 算法。对于一组待拼接图像 $I_1(x, y)$ 和 $I_2(x, y)$ ，其之间存在的几何变换关系是确定的，因此图像 $I_1(x, y)$ 中的匹配点 $P_{1i}(x, y)$ 与其在图像 $I_2(x, y)$ 对应的匹配点 $P_{2i}(x, y)$ ，之间应存在以下两个几何关系：

1)各匹配点对中两点所确定的直线斜率相等或近似相等；

2)各匹配点对中两点距离相等或近似相等(考虑计算中存在的误差).

2.4 图像拼接及融合

初步实现图像拼接就是将两幅图像统一到同一坐标上. 在本论文中两幅客户端采集的图像具有相同的高和宽. 将其两幅图像统一到同一坐标系并显示的第三幅图像上. 其实现过程如下图 6 所示:

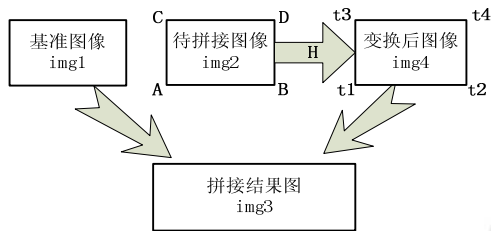


图 6 图像拼接示意图

其中 $img1$ 为客户端 1 采集的图像(基准图像), $img2$ 为客户端 2 采集的图像(待拼接图像), $img4$ 为 $img2$ 经 H 变换后得到的变换图像, $img3$ 为拼接的最终图像. A, B, C, D 四个点通过 H 矩阵变化后得到 $t1, t2, t3, t4$ 四点, 横坐标为 x , 纵坐标 y (如式 4). 本论文实现图像拼接的具体实现过程如下:

- 1) $img3$ 为开辟区域的宽和高.
 - $img3.width = \max(img1.width, t4.y, t2.y)$
 - $img3.height = \max(img1.height, t1.x, t2.x)$

2)为 $img3$ 赋像素值.

情况 1: $t1.y < 0 \parallel t2.y < 0$ $img2$ 的每个像素点通过 H 矩阵进行坐标变换, 得到其在 $img3$ 中对应的坐标位置, 并将像素值赋给 $img3$ (坐标值为负的边缘像素点舍弃). 再将 $img1$ 赋给 $img3$ 初步完成图像拼接.

情况 2: $t1 > 0 \& t2 > 0$ 对 $img1$ 的每个像素点通过 H 矩阵进行坐标变换, 得到其在 $img3$ 中对应的坐标位置, 并将像素值赋给 $img3$. 再将 $img2$ 赋给 $img3$ 初步完成图像拼接.

图像融合就是消除拼接图像接缝的一项关键技术. 一般的解决方法是在拼接缝处及其附近采用平滑处理, 而传统平滑处理的结果是导致图像的分辨率下降, 产生模糊影响. 本论文对重叠部分的平滑处理采用渐入渐出的方法, 即在重叠区域实现由第 1 幅图像慢慢过渡到第 2 幅图像. 例如 I_1 和 I_2 是两幅待拼接的图像, 将 I_1 和 I_2 在空间叠加, 则融合后的图像像素 I 可表示为:

$$I(x, y) = \begin{cases} I_1(x, y) & (x, y) \in I_1 \\ m_1 I_1(x, y) + m_2 I_2(x, y) & (x, y) \in I_1 \cap I_2 \\ I_2(x, y) & (x, y) \in I_2 \end{cases} \quad (5)$$

其中 m_1, m_2 表示权重值, 一般与重叠区域的宽度 w 有关, 即一般取 $m_1 = 1/w$, 且 $m_1 + m_2 = 1, 0 < m_1 < 1, 0 < m_2 < 1$.

3 实验结果

为了验证本系统设计的可行性, 在 CORE i3 2.5GHZ(内存 4.00GB)的 PC 机上采用 RVMDK 软件, 设计控制 OV7670 摄像头和 WiFi 模块程序, 并将其下载到 STM32 中, 作为客户端, 用于图像的采集, 显示以及通过 WiFi 向服务端传输. 采用 VC6.0 软件编程生成 Server.exe 将本机作为服务器用于接收客户端发送的图像, 并对图像进行处理.

实验验证过程如下: 开启服务端软件, 点击接收. 开启两个客户端, 客户端上电后开始采集图像, 并将图显示在 TFT 上(如图 7 所示). 设置客户端(如图 8 所示), 点击连接. 服务器与客户端连接成功.



图 7 客户端显示采集图像



图 8 设置 TCP 客户端



图 9 服务端软件界面



图 10 服务端图像处理界面

实验证明, 在范围局域网有效范围内(50m 左右), 两个客户端将图像有效的传输到服务端, 并在服务器完成拼接, 达到实时场景拼接. 在分辨率不同、不同拼接算法复杂度的情况下, 拼接频率如表 2 所示:

表 2 不同情况图像拼接频率

分辨率	使用传统 RANSAC 算法	使用改进 RANSAC 算法
640*840	5 f/s	8 f/s
320*240	35 f/s	50 f/s
160*120	140f/s	210f/s

4 结语

本论文在嵌入式系统下和 VC6.0 环境下实现了基于 WiFi 的分布式监视场景拼接系统研究与设计. 服务器与两个客户端在 WiFi 环境下实现了数据之间的传送, 并实时实现了两幅图像的拼接, 达到实时场景拼接. 其优点在于将无线传输技术与图像拼接技术的结合, 并在图像拼接中采用了一种基于几何约束的 RANSAC 算法来剔除误匹配点, 但本论文, 只实现了两个节点的分布式网络监视场景拼接系统, 下一步工作需要将其运用到多节点的分布式网络监视.

参考文献

- 黄艳波. 无线网络传输性能改进[硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2010.
- 朱远平, 夏利民. 一种适用于图像拼接的自适应模板匹配算法. 计算机工程与应用, 2003, 31: 109-111.
- 方贤勇, 潘志庚, 徐丹. 图像拼接的改进算法. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, 15(11): 1362-1365.
- 王娟, 师军, 吴宪祥. 图像拼接技术综述. 计算机应用研究, 2008, 25(7): 1490-1493.
- 许新科, 杨进华, 王超, 姚雪萍. 基于视频图像的快速拼接算法研究. 长春理工大学学报(自然科学版), 2011, 34(1): 104-106.
- Lowe DG. Object recognition from local scale invariant features. Proc. of the International Conference on Computer Vision. Keykyra, Greece. 1999. 1150-1157.
- Lowe DG. Distinctive image features from scale invariant key points. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- 施庆, 郭欣. 基于角点检测配准的全景图像拼接技术研究. 微型电脑应用, 2011, 27(6): 18-21, 32.
- Chi YT, Li C, Xiong Z. Improving RANSAC filtering with matching similarity of local features. 2011 6th International Conference on Computer Sciences and Convergence Information Technology (ICCIT). 2011. 253-256.
- 张世良. 基于改进 RANSAC 算法的图像自动拼接技术. 三明学院报, 2012, 29(2).
- 穆柯楠, 惠飞, 曹健明, 郭兰英. 一种基于几何约束的 RANSAC 改进算法. 计算机工程与应用. 10.3778/j.issn.1002-8331.1301-0122. [2013-4-15].
- 高峰, 魏少华, 王学通. 基于 SIFT 特征点的图像匹配算法. 现代电子技术, 2010, 329 (18): 101-103.