

基于二进制粒子群优化算法的行人检测^{*}

杨 英¹, 刘卫国², 王有财¹

(1. 东北大学 机械工程与自动化学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 浙江省汽车安全技术研究重点实验室, 浙江 杭州 311228)

摘要:针对汽车前方道路上的行人安全问题,对道路行人采用二进制粒子群优化算法(BPSO)进行了检测,以确保行人的安全。首先,对随机采集的道路行人图像样本进行了二维离散余弦变换(DCT),将行人的描述从图像空间转换为用少量数据点来表示频率域空间,再利用DCT算法的对称性,解压缩图像,获得了行人图像的特征向量;其次,应用BPSO算法对得到的特征向量进行了特征选择,从行人频域特征空间中,提取了有价值的特征子集,得到了最具代表性的行人特征,完成了行人检测。试验结果表明,在样本数量较少的情况下,无论在检测正确率还是检测实时性方面BPSO算法都优于传统的支持向量机(SVM)算法。研究表明,二进制粒子群优化算法能够高效快速的检测到行人,为车辆主动安全技术提供重要基础,对于减少交通事故具有重要意义。

关键词:行人检测;二进制粒子群优化;离散余弦变换;支持向量机;特征提取

中图分类号:U461.99;TP391

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2013)09-1142-05

Binary particle swarm optimization algorithm for human pedestrian recognition

YANG Ying¹, LIU Wei-guo², WANG You-cai¹

(1. College of Mechanical Engineering and Automation, Northeastern University, Shenyang 110819, China;

2. Zhejiang Key Laboratory of Automobile Safety Technology, Hangzhou 311228, China)

Abstract: Aiming at cars on the road in front of pedestrian safety issues, binary particle swarm optimization(BPSO) was used to detect, in order to ensure the safety of pedestrians. Firstly, the collected pedestrian sample images on the road changed into feature vectors by two-dimensional discrete cosine transform(DCT). The description of the pedestrian was converted to a small number of data points from the image space to the frequency domain space. Use the symmetry of the DCT algorithm, decompress image, get pedestrian image feature vector. Secondly, the features were selected by the BPSO algorithm from the feature vectors, from the the space pedestrian frequency domain, extracting valuable feature subset, in order to get the most representative features of pedestrian, completing the pedestrian detection. The results show that BPSO algorithm in the case of the small sample size, both in real-time detect the correct rate or detection are superior to traditional support vector machine(SVM) algorithm. The results indicate that this research can be efficient and fast detect pedestrians, provide important basis for vehicle active safety technologies, to reduce the number of traffic accidents, that is of great significance.

Key words: pedestrian detection; binary particle swarm optimization(BPSO); discrete cosine transform(DCT); support vector machine(SVM); feature selection

0 引 言

行人识别是行人检测过程中最为关键的一步,行人的识别过程实际上就是一个目标标记的过程,即运

用一些图像识别算法来进一步判断已经分割出来的是否是行人,如果“是”便将行人以某种方式(本研究以矩形框的方式)标记出来。行人识别是行人检测的第二步也是最为关键的一步,即对上一步分割出来的行

人候选区域进行一些简单的图像处理(二值化、均衡化、离散变换等),同时提取一些典型特征,然后利用这些典型特征进行机器学习并训练得到行人检测所需的分类器,完成行人识别的目的。传统行人识别的方法是支持向量机,虽然检测效率很高,但是前期处理时间长、过程复杂,不能满足实际的应用^[1-5]。将基于二进制粒子群优化的方法应用到行人检测中,以解决在实际中应用的问题,为汽车主动安全技术提供了有效的理论基础。

二进制粒子群优化算法是由 Kennedy 和 Eberhart 博士在 1997 年提出^[6],该算法主要用于解决传统粒子群优化算法无法解决的离散优化问题。该算法主要应用于人脸识别、行人识别以及数字识别等。

1 行人样本图像的离散余弦变换

行人图像的各像素数据之间存在极强的相关性和很大的冗余性。冗余信息是指由于数据结构、存储等方面设计的不合理而造成的信息重复,最常见的冗余信息出现在数据库的设计中。进行图像压缩最主要的目的是提高图像重建之后的质量,同时,尽量多地去除这些冗余信息。

1.1 离散余弦变换(DCT)

图像 DCT 变换是图像处理中变换效果最好的方式,因为它有以下优势:①DCT 是正交变换,它可以将 8×8 图像的空间表达式转换为频率域,只需用很少数据点来表示图像;②DCT 产生的系数易被量化,块压缩的效果很好;③DCT 算法的性能稳定,而且速度快,这就保证其在硬件和软件中都能够实现;④DCT 算法具有对称性,因此可利用逆 DCT 算法来解压缩图像。

由于离散余弦变换核函数是余弦函数,而傅里叶变换的核函数是指数,DCT 的变换速度比 DFT 要快得多,而且对于一些本身含有一阶马尔柯夫过程的随机信号,DCT 最接近 K-L 变换,目前在图像边缘提取、图像压缩以及图像识别领域得到广泛应用。

设 $f(x, y)$ 一幅分辨率为 $M \times N$ 的行人图像矩阵,则对应的二维离散余弦变换和反余弦变换的公式分别为:

$$F(u, v) = a(u) \left(a(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2M} \cdot \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right) \quad u = 0, 1, \dots, M-1; \quad v = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} a(u) \left(a(v) F(u, v) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2M} \cdot \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right) \quad x = 0, 1, \dots, M-1; y = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2)$$

$$a(u) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{M}}, u = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{M}}, u = 1, 2, \dots, M-1 \end{cases} \quad (3)$$

$$a(v) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}}, v = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, v = 1, 2, \dots, N-1 \end{cases} \quad (4)$$

矩阵表示为:

$$\begin{cases} F = C^T f C \\ f = C F C^T \end{cases} \quad (5)$$

1.2 (DCT) 正逆变换行人样本图像

DCT 变换图像变换后如图 1(a) 所示,候选区域经过 DCT 变换之后,有了明显的变化,高、低频分量显而易见,其中高的部分分布在右下角,低的部分分布在左上角。对于一副图片来说,其关键信息都分布在低频分量中,因此本研究将高频分量舍掉,进而实现图像压缩的目的,而且重建后图像的频谱几乎保持不变,如图 1(c)、1(d) 所示。理论上可以直接对整个图像进行 DCT 变换,但是因为图像每个部分在细节上有很大的不同,对整个图像直接进行 DCT 变换效果非常不好。为了提高实验效果,本研究采取先将对角图像分块,并对每个块进行 DCT 变换,然后对每个块进行 IDCT 变换,最后将每个处理后的块组合起来形成一幅图像。离散余弦变换的优势在于:能量集中,频域变化因子 u, v 较大时 DCT 系数 $a(u, v)$ 较小;而数值较大的 $a(u, v)$ 主要分布在 u, v 较小的左上角区域,有价值信息都集中在该区域。由于利用 DCT 系数重建图像时,将有用信息多的低频分量保留,而去除无用的高频分量,利用反余弦变换仍可获得与原始图像相像的重建图像,新、旧图像理论上存在一定的误差,但是一些重要信息都存在。

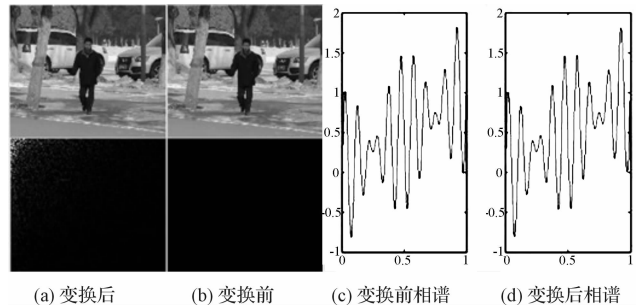
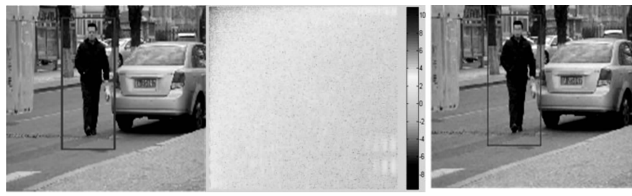


图1 DCT 变换图像

DCT 逆变换图像如图 2 所示。待处理图像如图 2(a) 所示,光谱图如图 2(b) 所示,离散余弦逆变换重构的图像如图 2(c) 所示。从图 2(b) 看出,图像的重要信息都聚集在变换后图像的左上角。该特性对行人检测系统起着非常关键的作用。



(a) 原始图像 (b) 光谱图 (c) 重构图像

图 2 DCT 逆变换图像

2 粒子群优化算法的行人特征向量提取

2.1 二进制粒子群优化算法

标准 PSO 算法已经应用于许多领域,但是这些应用都是求解无约束连续型最优化问题,而对于有约束的离散型的优化问题,目前应用相对较少。为了使 PSO 算法能够解决离散型的优化问题,文献[6]提出了 BPSO 算法(二进制粒子群优化算法)。在 BPSO 算法中,将粒子看成字符串,该字符串是经过二进制编码,因此粒子的位置 x_{id}^k 只能取 0 或者 1。为使迭代后 x_{id}^{k+1} 只能取 0 或 1 这两个值,下面引入 $\text{sig}(x)$:

$$\text{sig}(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)} \quad (6)$$

这样迭代公式变为:

$$x_{id}^{k+1} = \begin{cases} 0, & \text{sig}(x_{id}^k) \leq r_3 \\ 1, & \text{sig}(x_{id}^k) > r_3 \end{cases} \quad (7)$$

在标准的 PSO 算法中, v_{id}^k 表示粒子的速度,由于粒子具有向其他粒子学习的能力,会使当前位置 x_{id}^k 的方向和位置发生一定的变化,从而使得算法可以在指定范围内进行搜索。然而,在 BPSO 算法中, v_{id}^k 代表一个概率,也就是说粒子的每一维分量 $\text{Sig}(v_{id}^k)$ 的概率取 1,而以非 $\text{Sig}(v_{id}^k)$ 的概率取 0。

2.2 行人特征向量提取

本研究利用 BPSO 算法对行人进行识别的主要思想是:从经过 DCT 变换以后的候选区域特征空间中,提取有典型的特征子集。每个粒子通过适应度函数更新(进化),每个粒子代表一个可能的优化解。适应度函数如下:

$$F = \sqrt{\sum_{i=1}^t (M_i - M_0)^t (M_i - M_0)} \quad (8)$$

式中: M_i, M_0 —分类的数目和样本空间总平均数。

且:

$$M_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L N_i M_i \quad (9)$$

$$M_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} w_j^i, i = 1, 2, 3, \dots, L \quad (10)$$

式中: N —所有类中图像的数目; w_j^i, N_i —一类数和 w_i 样本图像。

二进制粒子群算法进行特征提取的流程与标准

PSO^[7-8] 算法大体一致,只是先对图像进行 DCT 处理,然后按照标准 PSO 算法流程进行特征提取。

3 行人检测实验

行人检测算法流程如图 3 所示。

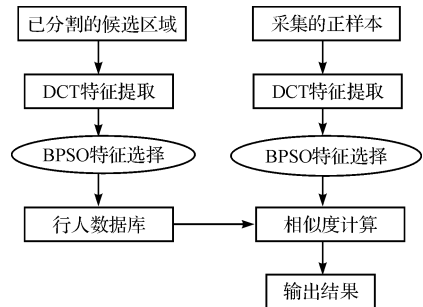


图 3 行人识别系统

3.1 图像均衡化处理

本研究对图像(已经分割出来的候选区域)进行直方图均衡化处理,通过直方图均衡化对图像进行去噪,提高对比度,为识别做准备;部分经过均衡化的图像如图 4 所示。

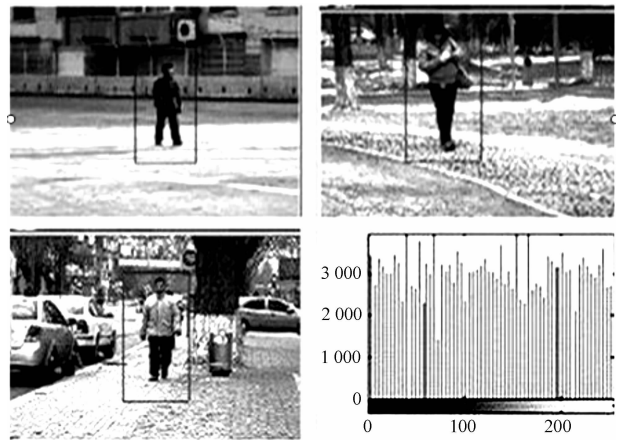


图 4 均衡化的图像

直方图均衡化是一种使输出图像直方图近似服从均匀分布,采用均衡化处理就是让所有的灰度级出现的概率基本相同,即在每个灰度级上都具有相同的像素点数。在数字图像处理中,实现直方图均衡化的具体步骤如下:

(1) 设原始图像的灰度级为 $f_j, j = 0, 1, 2, \dots, k, \dots, L-1$ (其中, L 是灰度级的个数)。

(2) 计算原始图像灰度级的像素数目 $n_j, j = 0, 1, 2, \dots, k, \dots, L-1$ 。

(3) 计算原始图像灰度级的频度:

$$p_f(f_j) = \frac{n_j}{n}, j = 0, 1, 2, \dots, k, \dots, L-1 \quad (11)$$

式中: n —原始图像的总像素数目。

(4) 计算累计分布函数:

$$C(f) = \sum_{j=0}^k P_f(f_j), j = 0, 1, 2, \dots, k, \dots, L-1 \quad (12)$$

(5) 计算输出图像的灰度级 $g_i, i = 0, 1, 2, \dots, k, \dots, m-1$ (m 为灰度级的个数)。

且:
$$g_i = \text{INT}[(g_{\max} - g_{\min})C(f) + g_{\min} + 0.5] \quad (13)$$
式中:INT—取整。

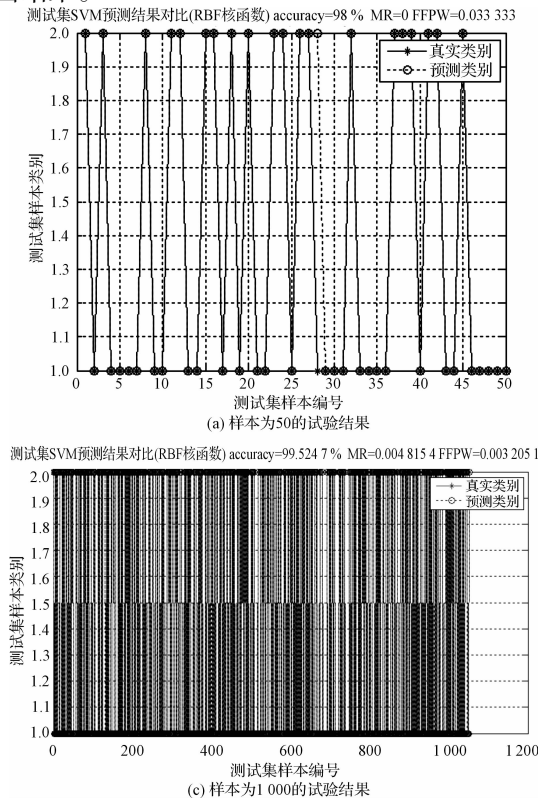
(6) 统计映射后各灰度级的像素数目 $n_i, i = 0, 1, 2, \dots, k, \dots, m-1$ 。

(7) 计算输出图像的直方图:
$$p_g(g_i) = \frac{n_i}{n}, i = 0, 1, 2, \dots, k, \dots, m-1 \quad (14)$$

(8) 用 f_j 和 g_i 的映射关系调整原始图像的灰度级,从而获得直方图近似均匀分布的输出图像。

3.2 图像 DCT 特征提取

- 图像 DCT 特征提取的 5 个步骤如下:
- (1) 把已经分割出来的候选区域进行二维离散余弦变换;
 - (2) 根据 DCT 的理论基础,对得到的归一化后的图像进行 DCT 变换,得到特征向量,并将其存入向量库中以便后期比较。
 - (3) 应用 BPSO 算法对步骤(2)中得到的特征向量进行特征提取;
 - (4) 采用 Euclidean 距离,将待识别图像的特征向量与特征库中的每个图像分别进行比较,得到的最小的距离的特征向量即为识别得到的图像^[9];
 - (5) 输出结果。



3.3 行人检测实验结果

为了验证本研究提出的算法的高效性,笔者在 Intel(R) Xeon(R) CPU E5520 2.27 GHz 2.00 GB 的计算机上,利用 Matlab 软件进行仿真实验。实验的结果如图 5 所示,训练样本为 50 时识别率最高达到 99.91%,识别时间也很快仅用 10.5 s。

程序运行开始.....
每类训练样本数为: 50
行人的识别率为: 99.91%
程序运行时间为: 10.5s
每类训练样本数为: 500
行人的识别率为: 99.34%
程序运行时间为: 115.3s
每类训练样本数为: 1000
行人的识别率为: 99.62%
程序运行时间为: 253.6s
每类训练样本数为: 1500
行人的识别率为: 99.26%
程序运行时间为: 361.8s
程序运行结束.....

图5 实验结果

3.4 与 SVM 算法对比分析

支持向量机简称 SVM,虽然它在统计学习理论中发展的比较晚,但是,目前已经有一套坚实的理论基础为保障,尤其在解决有限样本学习问题起着关键的作用。郭烈^[10]运用 SVM 算法对行人进行分类识别。为了与本研究算法进行对比分析,笔者也分别选取数量为 50、500、1000、1500 个正负样本进行试验,并把训练时间以及识别率等方面进行数据的比较。SVM 的试验结果如图 6 所示。

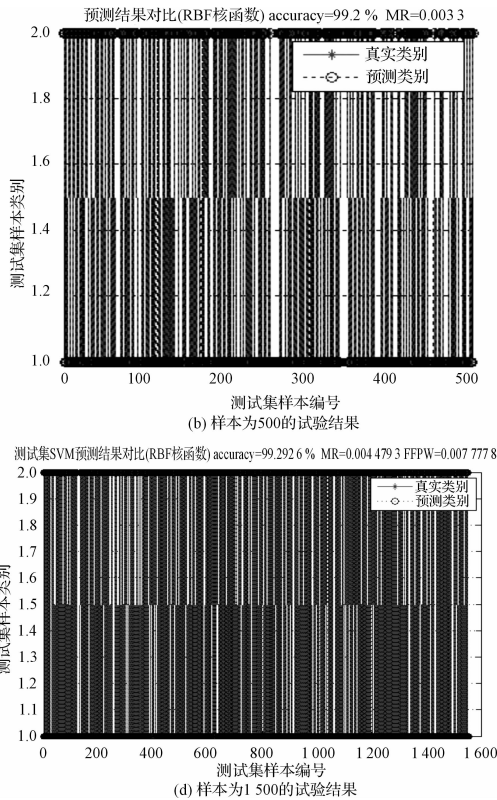


图6 SVM 的试验结果

图 6 中,横坐标表示样本的数量,纵坐标为正负样本,1 代表正样本,2 代表负样本。Accuracy 为识别率,MR 表示漏检率,FFPW 表示误检率。

为了获得最佳的识别效果,本研究结合粒子群优化算法对识别寻优,设置初始种群数目为 30,惯性权重取 0.5,学习因子分别取 $c_1 = 1.456$ 、 $c_2 = 1.555$,最大迭代次数为 100。进化迭代次数与适应度值之间的关系如图 7 所示,迭代 40 次左右,粒子达到最佳位置,满足识别率,达到最佳效果。

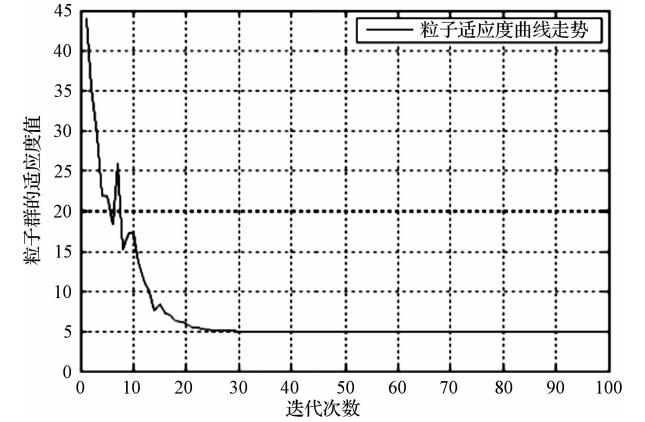


图 7 粒子群优化算法进化代数与适应度值关系

BPSO 算法与 SVM 算法的对比结果如表 1 所示。由表 1 可以看出:

- (1)无论数量是 50、500、1 000 还是 1 500,本研究算法无论在检测率还是检测时间上都优于 SVM 算法。
- (2)本研究算法在数量为 50 时检测率最高,由于笔者研究的是车辆前方的行人,数量不会很大,刚好符合研究要求,具有很好的应用前景。

表 1 BPSO 算法与 SVM 算法的对比结果
(检测率/时间,单位:s)

数量	50	500	1 000	1 500
BPSO	0.999/11	0.993/115	0.996/254	0.993/362
SVM	0.980/15	0.992/130	0.995/270	0.992/400

4 结束语

使用 DCT 图像压缩,具有方法操作简单、准确率高、效率高、速度快等优点,避免大量矩阵计算,极大提高了图像压缩的效率和精度。本研究首先对以分割出来的行人候选区域进行二维离散余弦变换(DCT),得到大量的典型特征,然后应用 BPSO 算法进行特征选择,最后与 SVM 算法进行比较,实验结果如图 5、图 6

所示。实验结果表明:①在行人识别中运用 BPSO 算法,有较高的识别率,BPSO 算法是一种有效的特征提取方法。②与 SVM 算法的比较结果表明该算法无论在检测率还是在检测时间方面都更好。综上所述,本研究算法可以达到预期的效果,而且有很好的发展前景,能够满足实际应用的要求。

参考文献(References):

[1] DOLLAR P, WOJEK C, SCHIELE B, et al. Pedestrian detection: an evaluation of the state of the art [J]. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, 2012, 34 (4): 743-761.

[2] GUO Lie, GE Ping-shu, ZHANG Ming-heng, et al. Pedestrian detection for intelligent transportation systems combining AdaBoost algorithm and support vector machine [J]. **Expert Systems with Application**, 2012, 39 (4): 4274-4286.

[3] ZENG Bo-bo, WANG Gui-jin, RUAN Zhi-wei, et al. Pair normalized channel feature and statistics-based learning for high-performance pedestrian detection [J]. **Optical Engineering**, 2012, 51 (7): 077206-1-077206-9.

[4] YE Q, LIANG J, JIAO J, et al. Pedestrian detection in video images via error correcting output code classification of manifold subclasses [J]. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, 2012, 13 (1): 193-202.

[5] ARMANFARD N, KOMEILI M, KABIR E, et al. TED: a texture-edge descriptor for pedestrian detection in video sequences [J]. **Pattern Recognition**, 2012, 45 (3): 983-992.

[6] XU Yi-chun, XIAO Ren-bin. An improved binary particle swarm optimizer [J]. **Pattern Recognition and Artificial Intelligence**, 2007, 20 (6): 788-793.

[7] GE W, COLLINS R T, RUBACK R B, et al. Vision-based analysis of small groups in pedestrian crowds [J]. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, 2012, 34 (5): 1003-1016.

[8] SUHR J K, KANG H M, JUNG H G, et al. Dense stereo-based critical area detection for active pedestrian protection system [J]. **Electronics Letters**, 2012, 48 (19): 1199-1201.

[9] 程国建,石彩云,朱 凯. 二进制粒子群算法在人脸识别中的应用 [J]. **计算机工程与设计**, 2012, 33 (4): 1558-1562.

[10] 郭 烈,高 龙,赵宗艳,等. 基于车载视觉的行人检测与跟踪方法 [J]. **西南交通大学学报**, 2012, 47 (1): 19-25.