

## 云环境下机群弹性负载均衡机制

杜 焱<sup>1</sup>, 郭 涛<sup>1,2</sup>, 陈俊杰<sup>1\*</sup>

(1. 太原理工大学 计算机科学与技术学院, 太原 030024; 2. 太原理工大学 信息中心, 太原 030024)

(\* 通信作者电子邮箱 sxdyao@yahoo.com.cn)

**摘 要:** 为克服传统刚性负载均衡机制不能适应多变的网络环境的缺陷, 解决云环境下已有负载均衡机制存在不能充分利用弹性机制, 且服务质量(QoS)不稳定的问题, 提出一种基于绿色计算资源池策略的云环境弹性负载均衡机制, 根据系统资源利用率对负载进行量化, 量化结果决定资源池虚拟机的分配, 最后结合虚拟机的使用情况, 回收资源, 提高资源的利用率。实验结果显示在该负载均衡机制下, 响应时间稳定在 2.5 s 左右, 整体服务质量有明显提高, 降低了电能消耗, 验证了该机制的有效性。

**关键词:** 云计算; 虚拟机; 服务质量; 负载均衡; 绿色计算

**中图分类号:** TP393.2 **文献标志码:** A

### Fleet elastic load balancing mechanism in cloud environment

DU Yao<sup>1</sup>, GUO Tao<sup>1,2</sup>, CHEN Junjie<sup>1\*</sup>

(1. College of Computer Science and Technology, Taiyuan University of Technology, Taiyuan Shanxi 030024, China;

2. Center of Information, Taiyuan University of Technology, Taiyuan Shanxi 030024, China)

**Abstract:** In order to overcome the defects of traditional rigid load balancing mechanism that it can not adapt to changing network environment, and to solve the problem of load balancing mechanisms in cloud environment that it can not take full advantage of elastic characteristics and Quality of Service (QoS) would be unstable, this paper proposed a new load balancing mechanism in cloud environment based on green computing resource pool strategy. It quantified the load according to the utilization rate of system resources and the quantization decided distribution of virtual machines. On the basis of the use of the virtual machines, resources would be recycled to improve resource utilization. The experimental results show that the response time stabilizes around 2.5 seconds, the overall QoS has been obviously improved with the power consumption reduced, and the effectiveness of the mechanisms has been verified.

**Key words:** cloud computing; virtual machine; Quality of Service (QoS); load balancing; green computing

## 0 引言

云计算中心管理着海量的计算资源, 如何充分利用这些资源, 降低能源消耗, 是云计算研究的一个热门领域<sup>[1-5]</sup>。云计算是将计算机硬件资源通过虚拟化后, 得到若干的虚拟机, 由虚拟机完成计算任务。因此虚拟机的负载能力在很大程度上决定了云平台的服务质量的优劣。

关于负载均衡机制, 在云环境与集群环境下有着根本的不同。在集群环境中, 任务处理单元是实际物理主机, 如果主机添置过多, 不仅投入巨大, 而且当负载过低时, 会造成计算资源的浪费; 如果主机过少, 负载超过总承载能力, 会对 QoS 造成极大的影响, 所以传统的负载均衡是一种刚性负载均衡。而云环境中的虚拟机资源是一种弹性计算资源, 可以根据实际负载变化, 动态地添加或者减少虚拟机。

关于传统的负载均衡的研究, 在集群环境下, 是从系统层面对作业队列、网络流量、系统资源进行调度, 具有一定的局限性<sup>[6-8]</sup>。例如文献[6]提出基于 Linux 虚拟服务器 (Linux Virtual Server, LVS) 的架构来构建负载均衡集群, 由若干服务器组成一个虚拟的超级服务器, 通过作业调度, 将服务请求均

匀的分发给节点处理, 但是该方法是在 Linux 系统下研究的, 其通用性还值得商榷, 另外, 其超级服务器的处理能力是一个定值, 超过后会对整个系统的 QoS 造成影响。文献[7]提出了基于预测的自适应负载均衡算法、多内存多时间片轮询调度策略, 这两种算法都是通过不断监测负载情况来预测负载走势, 进而调整相应参数, 实现集群中各服务器之间的负载均衡, 虽然性能有所提高, 也做出了合理的预测, 但是整个集群的负载能力仍然是刚性的, 不能应对多变的网络环境, 而且不断读取大量的信息本身也加重了整个系统的负载。在云环境下, 关于负载均衡的研究主要集中于资源调度和虚拟机的在线迁移。前者沿用了集群环境下的负载均衡机制, 没有充分发挥云环境的弹性优势, 例如文献[9-11]。后者通过将虚拟机从负载能力低的宿主机中迁移至负载能力高的宿主机中, 例如文献[12]提出基于预测机制的在线迁移虚拟机的方法, 该方法虽然克服了资源调度负载均衡的缺点, 但必然导致频繁的在线迁移, 这样的操作会片刻中断对外服务, 所以对 QoS 造成影响, 使其缺乏稳定性; 并且, 如果选择迁移的目标主机负载状态为繁忙, 也会对迁移的效果造成影响, 无法充分发挥出云计算的优势。

**收稿日期:** 2012-09-24; **修回日期:** 2012-11-06。 **基金项目:** 山西省科技基础条件平台建设项目 (2010091103-0101); 山西省研究生优秀创新项目 (20103031); 太原理工大学 2012 年校专项青年基金资助项目 (2012L092)。

**作者简介:** 杜焱 (1983-), 男, 山西太原人, 硕士研究生, 主要研究方向: 高性能计算机; 郭涛 (1978-), 男, 山西祁县人, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向: 高性能计算机; 陈俊杰 (1956-), 男, 河北定州人, 教授, 博士生导师, 博士, 主要研究方向: 智能信息处理、搜索引擎。

针对上述问题,本文提出对于不同负载能力需求,进行个性化的计算资源配置,结合负载预测的方法,创建具有一定数量的、不同类型配置虚拟机的资源池的弹性负载均衡机制,当提供服务的虚拟机负载过高时,请求一台虚拟机加入服务集群,降低过高负载;当提供服务的虚拟机负载过低时,就选择一台虚拟机离线。同时本文借鉴文献[13-14]中“绿色计算”的思想,降低云计算中心的电能消耗,提高整个计算资源的利用率,进而就减少了向自然环境中排放的温室气体。

## 1 弹性负载均衡机制

### 1.1 总体架构

本文提出的弹性负载均衡机制主要由虚拟负载均衡管理器、虚拟集群管理器、配置分析器、资源池管理器、虚拟机环境部署器、虚拟机生成器、虚拟机模板镜像库共七个模块组成。下面对各个模块进行定义。

1) 虚拟负载均衡管理器:主要管理虚拟负载均衡器,维护其正常运行,监视运行状态,发生超载后应用负载均衡器部署策略,向资源池管理器请求,部署新虚拟负载均衡器。

2) 虚拟集群管理器:主要管理处于虚拟集群中的虚拟机,负责这些虚拟机的正常运行,监视运行状态,发生超载后向资源池管理器请求,部署新的虚拟机。

3) 配置分析器:负责提取超载状态虚拟机的环境配置,以及负载类型(见1.4.1节),生成对新虚拟机的请求。

4) 资源池管理器:为核心部件,主要功能是创建满足一定负载的资源池 $P_1$ 、 $P_2$ ,并且维护资源池及其中虚拟机状态;资源池 $P_1$ 为待命资源池,其中的虚拟机均为运行状态,随时可供分配;资源池 $P_2$ 中虚拟机均为休眠状态,当资源池 $P_1$ 不能满足请求时,可供备选。

5) 虚拟机环境部署器:当某一虚拟机被选中后,由其根据虚拟机请求配置满足条件的环境。

6) 虚拟机生成器:负责根据模板库中的虚拟机镜像模板,生成新虚拟机文件,并且实例化为可运行的虚拟机。

7) 虚拟机模板镜像库:负责管理与维护不同类型硬件配置、操作系统的虚拟机模板。

### 1.2 弹性负载均衡部署过程

一个典型的弹性负载部署流程如图1所示。

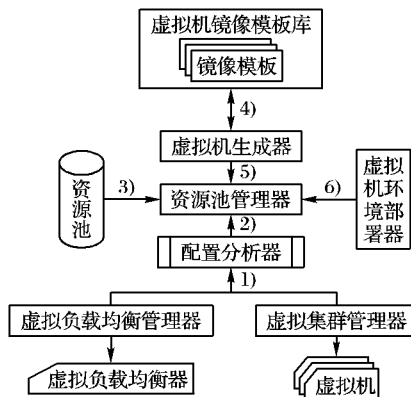


图1 弹性负载部署过程

具体过程如下:

1) 虚拟负载均衡管理器和虚拟集群管理器,每隔一段时间进行一次负载信息采集,并且进行负载预测。如果预测结

果需要负载均衡操作,则向配置分析器发出请求。

2) 由于虚拟负载均衡器的配置与提供应用服务虚拟机的配置不同,所以需要配置分析器对所请求虚拟机的配置类型进行分析,转化为资源池能够理解的配置格式。

3) 资源池管理器根据配置请求,按照优先级次序从 $P_1$ 、 $P_2$ 中查找出一台满足符合负载需求的虚拟机,然后返回该虚拟机。

4) 如果资源池查找失败,虚拟机生成器则根据虚拟机负载配置,从镜像模板库中拷贝出镜像模板文件后,重新部署一台新虚拟机,然后返回该虚拟机。

5) 返回的虚拟机,根据配置文件中的运行环境,进行应用程序的配置。整个系统所需的应用程序,全部存储在一个公用存储阵列中,通过管道共享这些文件。

6) 资源池管理器通过3)~5)步后,将准备好的虚拟机返回给虚拟负载均衡管理器或虚拟集群管理器,进行服务注册。

### 1.3 负载均衡器部署策略

在以往的研究中,经常使用虚拟负载均衡器分配流量,但是却忽略了其会对整个集群造成瓶颈效应,如果外部访问的流量超过负载均衡器所能承受的负载上限,此时会对整个集群的QoS造成严重影响,一些文献采取的解决方法是选择性地丢包<sup>[15]</sup>,却对QoS造成了影响。本文提出的解决策略是基于云计算的弹性机制,将负载均衡器部署在虚拟机当中,如果当前的负载均衡器不能承受网络流量,则会请求资源池管理器,分配一台虚拟机部署为负载均衡器。

在传统的负载均衡技术中,主要技术有基于轮询DNS技术、基于NAT地址转换技术和基于客户端软件。本文采用NAT地址转换技术,此种技术代价较小,并且相当成熟,部署较为方便。

### 1.4 虚拟机资源池调度策略

#### 1.4.1 量化负载

要进行负载均衡,首先需要对负载进行量化处理。为方便研究,硬件只考虑CPU、硬盘、内存值与CPU成正相关比例;只将计算机的负载类型分为计算型负载和存储型负载。由于计算机的硬件配置在很大程度上决定了计算机的负载能力,而软件配置决定了计算机的服务类型,所以这里假设硬件配置与负载正线性相关。

首先,从虚拟机中读取CPU利用率,硬盘读取速率分别为 $p_c$ 、 $p_d$ 。其次计算 $C$ 值与 $S$ 值。设 $C$ 为计算型负载, $S$ 为存储型负载,如以下公式所示:

$$C = f_{(p_c)} = \begin{cases} 0, & p_c < 50 \\ 1, & 50 \leq p_c < 65 \\ 2, & 65 < p_c \end{cases} \quad (1)$$

$$S = g_{(p_d)} = \begin{cases} 0, & p_d < 55 \\ 1, & 55 \leq p_d < 75 \\ 2, & 75 < p_d \end{cases} \quad (2)$$

其中 $f_{(x)}$ 、 $g_{(x)}$ 分别为两种负载的线性分段函数, $C \in (0, 1, 2)$ ,  $S \in (0, 1, 2)$ 。

由于一般计算型任务的存储读取较少,而存储读取多的CPU占用较少,所以假设计算型负载与存储型负载成反比关系,则可得到虚拟机硬件配置,见表1。由式(1)~(2)得到负

载向量  $(C, S)$ 。

表1 虚拟机硬件配置

C	CPU 数	内存大小/MB	S	硬盘容量/GB
0	1	256	2	20
1	2	512	1	15
2	3	1024	0	10

在虚拟集群管理器中,有若干虚拟机提供服务,根据预先定义的负载采集频率,利用主流操作系统均支持的简单网络管理协议(Simple Network Management Protocol, SNMP)查询一次各个虚拟机的资源利用情况,并且根据负载预测算法(时间序列平滑预测法中的一次指数平滑法<sup>[16-17]</sup>,方法实现简单,系统开销较小)进行虚拟机的负载预测。如果检测到了某台虚拟机负载达到了阈值(例如,  $C > 0, S > 0$ ),并且预测此负载会持续的时间间隔超过了定义的阈值,就将负载向量  $(C, S)$  与 Configuration.xml 软件需求配置文件发送给资源池管理器。资源池管理器结合虚拟机硬件配置和负载能力,根据宿主机的资源利用情况,从  $P_1$ (待命资源池)中分配出一台虚拟机分配给虚拟集群管理器。如果  $P_1$  为空,或者没有与请求配置相匹配的虚拟机,再根据虚拟机查找策略在  $P_2$ (休眠状态资源池)查找,查找成功,则分配出去;否则根据资源利用率监测策略选择一台宿主机,重新创建一台虚拟机,分配给虚拟集群管理器。继续检测负载情况,如负载仍然过高,则重复上述过程。

#### 1.4.2 负载采集频率

采集频率过高时,虽然会提高负载信息精确度,但是无形中增加了系统的额外开销,不利于系统的运行;但采集频率过低时,会对精确度造成影响。一般频率设置在 1~11 s 区间内<sup>[17]</sup>。预测算法采用时间序列平滑中的一次指数平滑法,对 CPU 利用率、内存利用率、磁盘吞吐率、可用的网络带宽等系统信息进行预测<sup>[17]</sup>。

#### 1.4.3 绿色计算

绿色计算是一种将环保主义观念与计算机科学技术结合的产物。如果资源池中所有的虚拟机资源以运行待命状态存在,那么在业务量高的时段内,能够快速响应应对虚拟机的需求,迅速起到负载均衡的作用<sup>[13]</sup>。但是,如果在业务量较低,当前负载能力能够完全满足业务的需求,则造成资源池中虚拟机资源和电能的浪费,最终的结果就是产生了大量的温室气体,对环境造成污染<sup>[14]</sup>。所以本文借鉴该思想,提出了创建双资源池,  $P_2$  中的虚拟机处于休眠待机状态,在一定程度上降低了温室气体的排放。

#### 1.5 资源池容量与个性化虚拟机软件配置

由于虚拟硬件配置决定了虚拟机负载能力的高低,每个虚拟机的负载能力决定了资源池的负载能力,资源池的负载能力又决定了资源池的容量。如果资源池的容量设置过于庞大,虽然资源池的服务能力很强,但是占用的资源也是巨大的,有悖于绿色计算的思想;如果容量设置过小,那么服务能力又会很脆弱。1.3 节给出了负载的量化,假设数据中心有  $n$  种类型的应用,那么根据某种应用的日志文件可以得到第  $i$  种应用负载的最大值  $L_{i, \max}$ :

$$L_{i, \max} = \frac{p_c^2 + p_s^2}{2}$$

其中:  $p_c, p_s$  为日志统计的 CPU 利用率,磁盘吞吐量的平均值。所以待命资源池  $P_1$  最大负载值为:

$$L_{\max} = \sum_{i=0}^n L_{i, \max}$$

假设每种应用的负载请求的概率是均匀分布,即

$$Num_{(C=0)} = Num_{(C=1)} = Num_{(C=2)} = \frac{L_{\max}}{3\lambda} \quad (3)$$

其中:  $\lambda$  为负载系数,由式(3)便可得到每种配置的虚拟机的个数。

备用资源池  $P_2$  中的虚拟机都处于休眠状态。当待命资源池  $P_1$  为空,或者无法分配出适当的虚拟机,这时需要激活  $P_2$  中的合适的虚拟机分配出去。假设发生这种情况的概率分布为标准整正态分布  $\theta(0.95)$ , 可得备用资源池容量为  $\frac{L_{\max}}{\lambda} \theta(0.95)$ , 同样也认为是均匀分布,由此得到了不同类型配置个数。

当资源池管理器分配出一台虚拟机后,需要根据软件配置文件 Configuration.xml 部署应用程序,由资源池管理器控制这台虚拟机从一个公用数据存储阵列中拷贝出需要的文件,并且自动执行安装初始化操作。

经过上述流程后,虚拟集群管理器将得到的虚拟机注册到自己的进程中,并且为其分配 IP 地址,在虚拟负载均衡器中完成注册,虚拟机即开始提供服务。

#### 1.6 资源回收

资源回收解决的是负载降低后,如何处理已经分配出去的闲置虚拟机的问题。本文提出两种解决思路,侧重点各有不同。

1) 销毁策略。为满足虚拟机上的中间件对系统环境的严格要求,使得所有虚拟机都是“新鲜的”。此方法操作简便,在虚拟机结束调用后,将其在运行期间生成的重要文件拷贝出来,最后直接删除掉镜像文件即可。但是必须另外向资源池中补充新的虚拟机,产生了额外的开销。

2) 回收策略。为了减少额外的开销,在虚拟机结束调用后,将其在运行期间生成的重要文件剪切出来,而后再次将其投入资源池中,以供下次使用时分配。

## 2 实验结果与分析

为了验证该弹性负载均衡机制的可行性,进行了两组模拟实验。

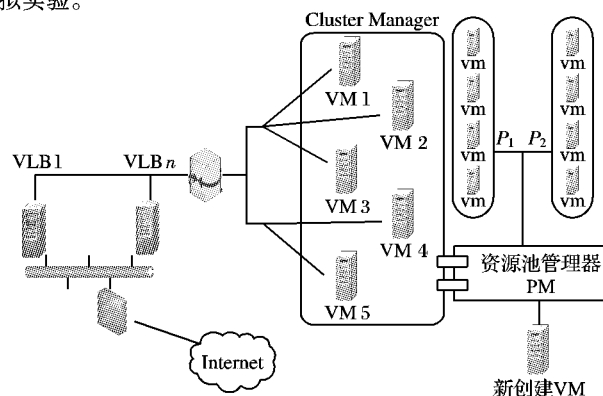


图2 实验部署示意图



实验环境由4台宿主机组成,配置见表2;由于宿主机硬件配置所限,虚拟机的数量不宜太多。虚拟机操作系统均为Windows Server 2003。由于VMWare提供了可供编程的API接口VIX,方便COM编程,所以采用该虚拟化软件。开发环境为Visual studio 2008工具,.NET Framework 3.5 C#。系统架构采用B/S,编译器采用ASP.NET。另外由于使用了MVC架构,方便以后对本系统进行扩展与更新。另外,使用C#语言开发了VIX COM接口的组建库,功能包括对虚拟机的启动、关机、挂起以及调用虚拟机内部可执行程序。系统架构如图3所示。

表2 宿主机配置

项目	配置
CPU	Intel Xeon E5335
MEM	4 GB
DISK	500 GB, SATA
NIC	1 Gb/s

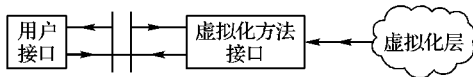


图3 系统架构

实验1 在初始化时,服务状态的虚拟机硬件配置见表1,数量为5台;资源池负载能力 $L_{\max} = 10$ , $\lambda = 1$ ,那么资源池容量为10,所以备用池容量为3。负载由LoadRunner提供,对系统每隔10s提升一倍请求量,并且计算响应的负载值,分别测试了传统刚性负载均衡、弹性负载均衡、云环境下在线迁移性能。在线迁移使用的工具是VMotion。实验结果如图4所示,刚性负载均衡的响应时间随请求量的增加有明显升高趋势,云环境下在线迁移负载均衡有较大波动,说明QoS不稳定,弹性负载均衡平均服务响应时间稳定,所以服务质量能够满足多变的网络环境。

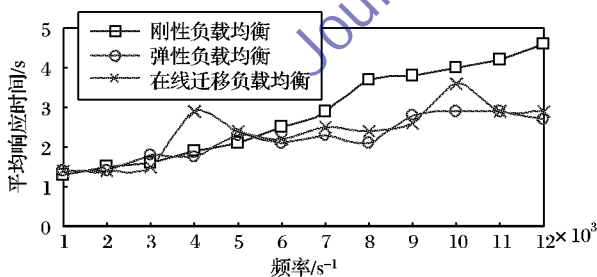


图4 负载均衡性能实验

实验2 针对绿色计算的思想, $P_1$ 状态恒定为运行,所以只考虑 $P_2$ 。将备用资源池 $P_2$ 中虚拟机设置为休眠状态,与未采用该策略的 $P'_2$ 对比。模拟实验中,资源池 $P_2$ 、 $P'_2$ 总容量均设置为5,全部虚拟机未施加任何负载。区别在于采用绿色计算(图5中曲线GC)思想的 $P_2$ 中虚拟机为待机状态,对比实验非绿色计算(图5中曲线Non-GC)思想 $P'_2$ 中虚拟机为运行状态。实验中功率测量工具采用微型电力测量仪,每隔20s记录一次功率消耗。实验结果见图5,表明采用绿色计算计算思想的资源池策略功耗节约平均为17%左右。

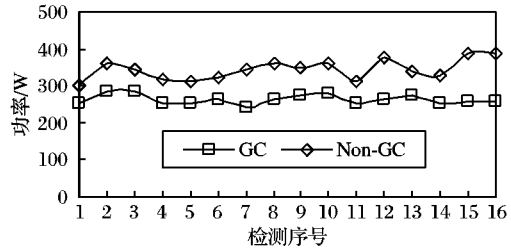


图5 绿色计算效果对比实验

### 3 结语

本文介绍了一种基于资源池的云环境下弹性负载均衡机制,实现了针对不同类型负载的量化后匹配不同负载能力虚拟机资源,提高了硬件资源的利用率。同时倡导绿色计算的理念,降低电能的消耗,减少了对环境的破坏。一定程度上克服了传统刚性的负载均衡与云环境下在线迁移负载均衡机制的不足。随着使用云平台的用户数量的增加,对其的稳定性、健壮性、兼容性,以及容错性的要求也越来越高,如何满足这些要求将是下一步需要研究的问题。

#### 参考文献:

- [1] MELL P, GRANCE T. The NIST definition of cloud computing [EB/OL]. [2011-10-20]. [http://csrc.nist.gov/publications/drafts/800-145/Draft-SP-800-145\\_cloud-definition.pdf](http://csrc.nist.gov/publications/drafts/800-145/Draft-SP-800-145_cloud-definition.pdf).
- [2] ARMBRUST M, FOX A, GRIFFITH R, et al. Above the clouds: a berkeley view of cloud computing[EB/OL]. [2011-12-05]. <http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2009/EECS-2009-28.pdf>.
- [3] 张建功,古志民,郑超.云计算研究进展综述[J].计算机应用技术,2010,27(2):429-433.
- [4] Amazon. EC2: Amazon elastic compute cloud[EB/OL]. [2011-10-20]. <http://aws.amazon.com/ec2/>.
- [5] VMware. 虚拟机及其虚拟机软件[EB/OL]. [2011-10-25]. <http://www.vmware.com/>.
- [6] 胡利军. Web集群服务器的负载均衡和性能优化的应用研究[D].北京:北京邮电大学,2010.
- [7] 何增辉.基于预测机制的负载均衡模型研究[D].郑州:郑州大学,2010.
- [8] 硕珺.PC集群负载均衡调度策略研究[D].北京:中国石油大学,2011.
- [9] 周欢云,王伟,张文博.面向云环境的自适应集群调整方法[J].计算机科学与探索,2011,5(4):347-355.
- [10] 张玉.虚拟机资源调度策略中的负载均衡算法研究[D].武汉:湖北大学,2008.
- [11] 洗进,余桂城.基于云计算的作业调度算法研究[J].计算机与数字工程,2011,39(7):39-42.
- [12] 刘媛媛,高庆一,陈阳.虚拟计算环境下虚拟机资源负载均衡方法[J].计算机工程,2010,36(16):30-32.
- [13] ZHU R B, SUN Z L, HU J K. Special section: green computing [J]. Future Generation Computer Systems, 2012, 28(1): 368-370.
- [14] DOUGHERTY B, WHITE J, SCHMIDT D C. Model-driven auto-scaling of green cloud computing infrastructure[J]. Future Generation Computer Systems, 2012, 28(1): 371-378.
- [15] 孙瑞峰,赵政文.基于云计算的资源调度策略[J].航空计算技术,2010,40(3):103-105.
- [16] 暴奉贤.经济预测与决策方法[M].广州:暨南大学出版社,2008:109-214.
- [17] 温少君,陈俊杰,郭涛.一种云平台中优化的虚拟机部署机制[J].计算机工程,2012,38(11):17-19.