

基于生物迁移的网络动态负载平衡的研究^{*})

张向锋¹ 任立红¹ 丁永生^{1,2}

(东华大学信息科学与技术学院 上海 201620)¹

(数字化纺织服装技术教育部工程研究中心 上海 201620)²

摘 要 生物系统中的关键机理和重要原理可用于设计一种新颖的生物网络结构及其仿真平台,以满足未来 Internet 网络的关键需求。本文在此框架下讨论了生物实体的不同迁移方式,并探讨了将其用于网络动态负载平衡问题,给出了一种负载平衡算法。通过对网络中不同任务量在采用和不采用负载平衡策略两种情况下的仿真试验,比较了不同条件下的响应时间,验证了算法的合理性。

关键词 动态负载平衡,生物迁移,神经内分泌免疫系统,生物网络结构

Study on Network Dynamical Load Balancing Based on Bio-Entity Migration

ZHNAG Xiang-Feng¹ REN Li-Hong¹ DING Yong-Sheng^{1,2}

(College of Information Sciences and Technology, Donghua University, Shanghai 201620)¹

(Engineering Research Center of Digitized Textile & Fashion Technology, Ministry of Education, Shanghai 201620)²

Abstract Key mechanisms and important theories of biological systems can be used to design a novel bio-network architecture and its simulation platform, which will satisfy desirable requirements of future network. Different migration methods of bio-entities are discussed based on the architecture in this paper. Dynamical load balancing is discussed and its algorithm is proposed. According to different task amounts, simulation experiments are done through adopting and not adopting load balancing strategy. We compare response time in different conditions and validate the rationality of the algorithm through the simulation.

Keywords Dynamical load balancing, Bio-entities migration, Neuroendocrine-immune system, Bio-network architecture

1 引言

在生物世界中,大规模的系统已形成许多机理使它能够调整自己、适应外界环境的变化,并在环境中生存,由此带给工程领域很多富有成效的智能技术和方法^[1]。从计算智能的角度讲,现有的计算模型仅关注神经网络、免疫系统和遗传系统的某一方面,而忽视了人体中神经、内分泌和免疫系统之间的相互作用,且目前还较少有关于人工内分泌系统的应用研究^[2,3]。神经、内分泌和免疫等三个系统之间相互关系的研究近年来受到医学、生物学领域的重视,并成为其前沿领域之一^[4,5]。另一方面,随着计算机技术特别是网络技术的发展,人们对 Internet 网络提出了更高的分布式要求,必须要具有可伸缩性、可扩展性、可维护性和可进化性^[6]。正是认识到生物网络的非常复杂的特性,针对未来 Internet 的特点,我们从神经内分泌免疫系统(NED)的现有理论和研究结果中抽象出三大网络集成的计算框架^[3],提出了基于 NEI 的生物网络结构^[7]。该生物网络结构应该具有网络综合性能随网络中可用服务的增加而按比例提高的能力,或者说通过提供更多的服务,网络具有在相同时间内处理更大任务的能力,即应能够达到分布式网络中的负载平衡^[8]。

然而,分布式网络要求在整个网络范围内资源的动态分配,为了使网络得到最佳的资源分配和最好的资源共享,人们提出了许多分布式负载平衡策略,Surdeanu 等人^[9]提出了一

种同时考虑 I/O、CPU 和存储器资源的负载平衡模型。X. Qin^[10]提出了一种具有反馈控制机制的动态负载平衡来改善工作负载的整体性能。而如何根据网络中的负载情况,把当前网络节点上重载计算机的任务传送到轻载计算机上执行,成为动态负载平衡的关键问题之一。

本文利用生物 NEI 系统的动态平衡和整体稳定机理,探讨生物网络结构中的动态负载平衡问题,利用生物迁移机制实现整个网络范围内资源的动态分配,使网络资源得到最佳分配和共享。通过对网络中不同任务量的仿真试验,验证了算法的合理性。

2 生物网络结构中动态负载平衡机制

2.1 生物网络结构

神经、免疫和内分泌系统是动物和人体内三大调节系统。三大系统之间不仅存在大的回路,而且彼此之间还存在双向信息传递机制,维持着机体正常的生命活动^[4,5]。三个系统之间的相互作用可以分为长轴、短轴和超短轴相互作用。当环境条件发生改变时,机体或其部分组织内机能与结构也将在某种限度内随之发生相应的改变,以求与所在环境保持动态平衡,机体的这种能力称为适应性。长期适应的结果是进化,所以在进化过程中,机能的分化是机体对外界环境长期适应的。机体内各器官、系统各自进行着各种生理机能活动,而机体内、外环境又经常处于变动之中,因此,机体内具有一整

^{*})基金项目:国家自然科学基金(60474037),教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-04-415),教育部科技创新工程重大项目培育资金项目(706024),上海市国际科技合作基金项目(061307041)。张向锋 博士,从事网络智能自动化与网络智能计算等研究;任立红 博士,副教授,从事智能系统、网络智能、DNA 计算和生物网络结构等研究;丁永生 博士,教授,博士生导师,从事智能系统、网络智能、DNA 计算、人工免疫系统、生物网络结构、生物信息学、数字化纺织服装、智能决策与分析等研究。

套精确的调节机构,用以不断地调节体内各器官、系统的活动,它们相互密切协调配合,使机体形成一个统一的整体,同时也要不断地调节机体的各种机能活动,构成一个立体的网络结构,共同负责机体对内外环境的适应性反应。

从 NEI 系统的生物基础,可以归纳出一些重要机理和原理,如个体的相互作用、发散性、聚合性、适应性等等,这些机理满足了未来 Internet 网络的关键需求,因而我们把这些原理和机理集成在一个统一的框架下,设计了生物网络架构^[3],并借用移动 Agent 技术实现了生物网络仿真平台^[7]。

生物网络结构主要包括生物网络平台和生物实体等。生物网络平台是配置和执行生物实体的运行环境,它包括生物网络服务和生物网络容器。生物网络提供了一套生物实体经常使用的实时服务:迁移、信用管理、安全认证、网络资源侦听、命名、持续性发送、关系管理、进化状态管理等。生物网络容器提供了底层操作来维持生物网络平台。通常生物实体不能直接访问容器。容器提供的底层服务主要有本地资源管理、本地安全、消息传输、同步、类载入等。

生物实体是网络应用中的最小组件。它是一种自治的移动 Agent,类似于生物系统中的个体,如免疫细胞、神经细胞等。它能够代表用户请求(即任务)或服务,用于形成网络服务与应用。生物实体由属性、本体和行为组成。属性描述关于生物实体的信息。本体实现用户请求或其提供的服务,包括与服务或任务相关的资料,如数据、应用代码、用户信息。行为实现生物动作,主要有能量交换和存储、生物实体间通信、迁移、复制/再生等。

2.2 生物网络中动态负载均衡

负载均衡就是要尽量均匀地分配任务,并尽量减少节点之间的通信,从而使系统有很高的吞吐率和一定的响应时间,即达到整个网络内的负载均衡。解决负载均衡的问题通常有静态和动态两种调度策略。一般来讲,每个节点上的任务是动态产生的,其负载大小是动态变化的,因此主要采用动态负载均衡策略。

在生物系统内,随着内、外环境的变化,机体或其部分组织内机能与结构也将在某种限度内随着发生相应的改变,以求与所在环境保持动态平衡,机体的各种机能所以能维持稳态,主要依靠反馈和自身调节作用。受 NEI 系统的适应性和稳态等机理的启发,我们设计了生物网络中的迁移机制。迁移机制主要负责代表任务或服务的生物实体的发送和接收。由于网络结构、网络节点配置及访问用户等各种环境的变化,网络节点处理生物实体的能力会受到不同程度的影响,为了高效合理地分配负载,网络系统动态地调节、控制生物实体的迁移,迁移机制如图 1 所示。

生物实体在网络中的迁移方式有三种:子网内近迁移、子网内远迁移和子网络间迁移,分别对应生物系统间的超短轴、短轴和长轴作用。例如,在某一时间用户发出请求,用生物实体 6 表示这个任务,它根据一定的调节机制(参见第 3 部分),确定向哪个节点迁移。它所在的节点 N_3 分析生物实体信息,并判断自身负载,如果它的负载较轻,则它本身处理;反之,寻找负载较轻的节点,并发送生物实体。节点 N_3 把生物实体发送到它的邻近节点,如节点 N_2 ,如果 N_2 不能处理,则通过远迁移发到网内其它节点。如果子网 Net_1 内不能处理生物实体,则 Net_1 将通过网间迁移到达另一子网 Net_2 。

3 基于生物迁移的动态负载均衡算法

为解决网络中负载均衡,需要完成如下四个步骤:

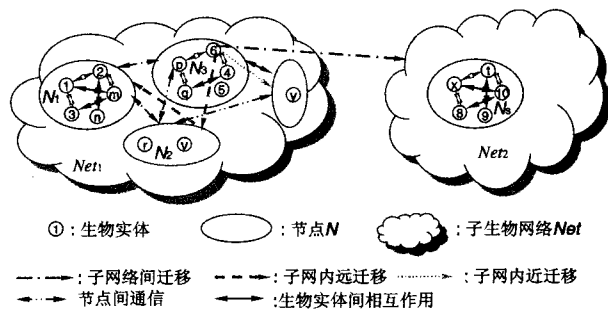


图 1 生物网络中生物实体的迁移方式

(1)信息收集:决定提取哪些系统信息,本文描述负载信息所采用的参数主要有 5 个,即生物网络节点上计算机的 CPU 利用率、内存、磁盘 I/O 访问率、响应时间和进程总数。

(2)信息传送:基于任务和计算机负载,判断是否要把一个任务传送到其它计算机节点上处理,通常采用阈值策略,如果接受的任务量大于节点能处理的任务时,就传送刚刚接受的任务。

我们把生物网络中节点间的关联关系用图 $G(N, E)$ 来表示,其中 $N = (N_1, N_2, \dots, N_n)$ 是图 G 中节点的集合; $E = (E_1, E_2, \dots, E_n)$ 是边的集合, n' 表示网络中链路的总数目。 $W(N_i)$ 表示节点 N_i 的权值, $T(N_i)$ 表示节点 N_i 所分配的任务量。 $\sum T(N_i)$ 和 $\sum W(N_i)$ 分别表示当前一段时间内需要处理的 n 个节点的任务总量和权值总和。定义

$$T(N_i) / \sum T(N_i) = W(N_i) / \sum W(N_i) \quad (1)$$

式(1)表示任务的分配是按照各个节点权值占权值总数的比例来进行分配。动态权值是由节点运行时各方面的参数计算出来的,其目的能正确反映节点负载的状况,以便预测节点未来可能的负载变化。为了对各个参数的比例进行调整,为每个参数设定一个常量系数 α_j ,用来表示参数的重要程度,其中 $\sum \alpha_j = 1$ 。任何一个节点 N_i 的动态权值公式可以描述如下,

$$W(N_i) = \sum_{j=1}^m \alpha_j Load_j(N_i) \quad (2)$$

其中 $Load_j(N_i)$ 表示节点 N_i 的第 j 个参数的可负载值。

为了使节点权值更加合理,对计算的权值进行修正,定义最终权值 $W_E(N_i)$ 如式(3)

$$W_E(N_i) = (1 - \beta) W_s(N_i) + \beta W(N_i) \quad (3)$$

其中, β 为系数, $W_s(N_i)$ 为节点 N_i 初权值。

在权值的调节过程中,如果 $W_E(N_i) = W_s(N_i)$,即最终权值等于初始权值,则系统的负载状况刚好达到理想状况;如果 $W(N_i) > W_s(N_i)$,即最终权值变高,说明系统负载较轻,该节点可执行较多的任务;如果 $W(N_i) < W_s(N_i)$,即最终权值变低,说明系统处于重载状况,该节点的任务需要分配给其它节点。

(3)选择策略:尽量选择本处理器上与其它任务相关性较小的任务集进行局部调度。例如,代表任务请求的生物实体迁移到节点 N_i ,并向节点 N_i 发送请求服务。如果节点 N_i 处于重载之下,它根据各节点最终权值选择能完成任务的其它邻近节点,并把与其它任务相关性较小的生物实体发送到其它邻近节点,由其它节点为生物实体提供服务。

(4)任务接收:决定任务到底传送到哪个节点上比较合适,在分布式的生物网络环境下,这与计算节点本身的执行性能、工作负荷以及节点之间的通讯开销有关。

网络节点的负载均衡的策略如图 2 所示,其中, BE 表示用户请求任务的生物实体。

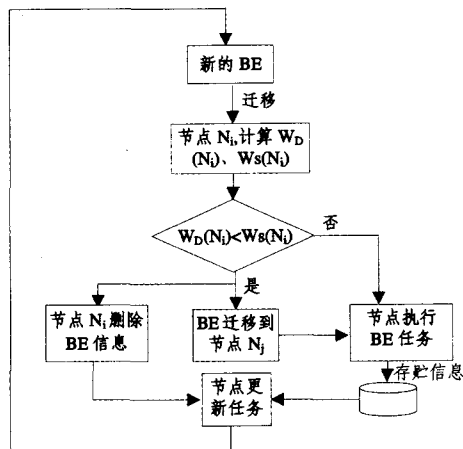


图2 网络节点间负载均衡策略图

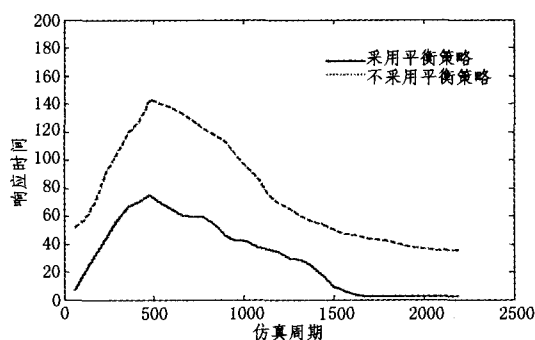
4 仿真结果与分析

在生物网络软件平台实现的生物网络仿真器上进行仿真。借助于该平台,设计一种“Web 站点个性化网页浏览服务”的应用实例对以上设计原理进行实现和评价。用户需要网页浏览服务,而网络中的 Web 服务器包含一个或多个网页,可以提供这一项功能。然而由于大量用户具有自身个性化的需求,使得

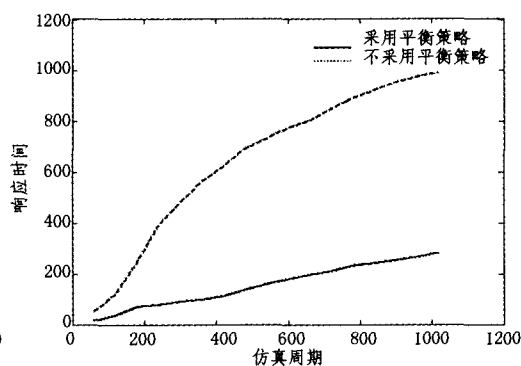
Web 服务器不能及时提供网页浏览服务而不能满足用户的需求,所以需要根据负载均衡算法调整 Web 服务器提供的服务,以便使网络中的任务能够被及时、高效地处理。

根据处理的任务特点,我们将常量系数 a_i 设为(0.15, 0.05, 0.3, 0.2, 0.3), 分别对应 CPU 利用率、磁盘 I/O 访问率、内存、响应时间和进程总数的重要程度。其中,内存和响应时间比其它参数重要一些。本实例仿真选择了具有 216(18×12)个节点的网络结构,将带有网页数目不同的 10 个服务器和 2000 个用户请求随机地分配到 216 个节点之上。每个生物实体代表一个个性化的用户请求。考虑到计算机的运行效率,每 60 个仿真周期采样一次数据,并把结果保存到数据库中。把在一定运行周期内响应时间作为衡量指标,在不同状况下进行仿真,仿真结果如图 3 所示。

图 3 中,分别对网络上任务量不断减少与任务量迅速增多时,在采用负载均衡策略和不采用负载均衡策略两种情况下进行比较。从仿真结果可以看出,在 2200 个仿真周期中,随着网络中任务量不断减少,采用平衡策略情况下响应时间减少较快,而不采用平衡策略情况下减少较慢,如图 3(a)所示。同样,在 1020 个仿真周期中,随着系统内任务量急剧增加,导致系统处理任务的响应时间也不断增加,若采用平衡策略,则增大较缓慢,否则增大较快,如图 3(b)所示。



(a) 任务量逐渐减少



(b) 任务量逐渐增加

图3 随仿真周期变化的系统不同任务量的响应时间

以上仿真实验结果表明,所设计的算法策略能够使生物网络结构合理地解决负载均衡问题,从而使网络具有可伸缩性、自适应性等特点,能够满足未来 Internet 服务的动态需求。

结束语 本文在基于 NEI 系统构建的生物网络结构的基础上,探讨了生物网络中的动态负载均衡问题。重点研究了生物实体即任务在网络中的迁移机制,提出了负载均衡的策略,设计了负载均衡算法。最后针对网络上任务量急剧增加与任务量不断减少时,采用和不采用平衡策略两种情况下进行仿真,比较了两种情况下的响应时间性能指标。仿真结果表明,所设计的算法能够更好地解决生物网络中的负载均衡问题,从而为网络资源的动态分配提供了一种可行的策略。

参考文献

- 1 丁永生. 计算智能:理论、技术与应用. 北京:科学出版社, 2004
- 2 Timmis J, Neal M. Once more upto the breach: towards artificial homeostasis. In: L. N. de Castro, F. J. Von Zuben, eds. Recent Developments in Biologically Inspired Computing, Idea Group Inc., Chapter XIV, 2003, 340~366

- 3 丁永生. 计算智能的新框架:生物网络结构. 投稿
- 4 Besendovsky H O, del Ray A. Immune-neuro-endocrine interactions: Facts and hypotheses [J]. Nature, 1996, 249: 356~358
- 5 胡格, 穆祥, 段慧勤, 杨佐君, 高立云. 免疫、神经和内分泌系统间的关系[J]. 动物医学进展, 2003, 24(1): 5~7
- 6 Putrycz E, Bernard G. Connecting frameworks: Case study with middleware-based load balancing. In: 23rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2003. 126
- 7 Zhang X F, Ding Y S, Ren L H. A neuroendocrine-immune system inspired bio-network architecture and its simulation platform for complex network applications. In: 2006 International Conference on Intelligent Systems & Knowledge Engineering, Shanghai, China, April 2006
- 8 Lan Z, Taylor V E. Dynamic load balancing of SAMR applications on distributed system. In: Proceedings of the 2001 ACM/IEEE Conference on Supercomputing, Denver, Colorado, 2001. 36~48
- 9 Surdeanu M, Modovan D, Harabagiu S. Performance analysis of a distributed question/answering system. IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems, 2002, 13: 579~596
- 10 Qin X, Jiang H, Zhu Y, Swanson D R. Dynamic load balancing for I/O- and Memory- Intensive workload in clusters using a feedback control mechanism. Lecture Notes in Computer Science 2913, Springer, December 2003. 300~309