

生物网络通信语言的设计和实现^{*})

皋 磊 任立红 张向锋 丁永生

(东华大学信息科学与技术学院 上海 200051)

Design and Implementation of Biological Network Communication Language

GAO Lei REN Li-Hong ZHANG Xiang-Feng DING Yong-Sheng

(College of Information Sciences and Technology, Dong Hua University, Shanghai 200051)

Abstract In our bio-network computation model^[1,2], it urgently needs a kind of network communication language to solve the communication and cooperation problems among bio-entities. Then the bio-entities can interact each other to implement emergent service and computation better. In this paper, we design a kind of bio-network communication language (BNCL) by combining the advantages of the Agent Communication Language (ACL) and XML. BNCL is simple, flexible and can implement the complicated coordination strategies in the bio-network. We examine the feasibility of BNCL by an application instance of the merchandise sales service with discount. BNCL also offers a new solution to interaction and cooperation problems of application programs in multi-agent systems and distributed systems.

Keywords Biological network, BNCL, ACL, XML

1 引言

未来的 Internet 是一个全球性分布的网络, 每个人和大多数具有扩展网络能力的人造对象, 如传感器、便携式电脑、移动电话、车辆以及常规电脑等都可以变为这个网络的组件。也就是说, 这是一个自扩充的、可移动的、可生存的网络。而现在具有中心节点——服务器的网络计算模式不能适应这种需要: 每个节点(客户)的加入都会给中心节点(服务器)带来一定的压力; 中心节点处会产生计算资源瓶颈和网络传输资源瓶颈, 一旦它崩溃了, 整个网络将陷于瘫痪; 中心节点上资源利用紧张, 而网络中其它大部分客户计算机却处于空闲状态。

另一方面, 在生物世界中, 像人类社会、蜂群、鸟群这样的大规模系统都是由分散的、自治的个体组成, 个体的行为和生存不依赖于某个中心个体。然而, 这些大规模的系统却能够自我调整、适应和生存。在研究这类生物系统中的一些已得到的重要原理和机理的基础上, 我们提出了生物网络计算模型^[1,2], 并将生物系统中的分散性特点作为生物网络结构设计的一个重要原则。在生物网络的分布式结构的环境中, 不存在任何中心实体, 因此不会存在上述 Internet 网络中现有的难以解决的问题。在生物网络的计算环境下, 大量生物实体(可以代表数据和应用)可以动态地、共同地进入、离开网络以及在网络中移动。在生物网络计算模型中, 要解决有效地寻找、聚集、组织和协调这些动态的生物实体来形成超级实体, 以提供用户需要的服务的问题, 就必需设计一种网络通信语言。这样, 集成在其中的生物实体就能够彼此通信和协作, 从而实现其实现特征^[3]。目前, 采用消息通信是实现灵活复杂的协调策略的基础。为了支持协调策略, 通信协议必须明确地规定通信过程、消息格式, 并需要选择合适的通信语言。

本文基于 XML 规范^[4]的 Agent 通信语言(ACL)^[5]的表达, 设计一种生物网络通信语言(BNCL)语言来解决生物网

络中的通信问题。

2 生物网络模型

生物网络模型是由生物实体和生物网络平台这两个主要部分组成, 通过生物组件的基本服务功能, 来构造各种复杂的网络服务和应用^[1,2]。通过这种方式来构建 Internet 网络服务和应用比较简单, 因为仅需要设计生物实体层次上的相对简单的行为。而其它要求, 如适应性、安全性和自救能力是多个生物实体共同作用的实现行为。

生物实体是生物网络环境中组件的最小组成单位, 同生物世界的个体相似, 具有自治性和自组织性, 除了具备与自身个性服务和应用相关的功能外, 都遵循着生物激励和简单的行为法则(如迁移、复制、能量交换、突变和死亡等), 且可以通过生物网络结构的变异和自然选择机理进化到期望的行为, 能自治地适应异构和动态变化的环境条件。

生物网络平台则运行在一个网络节点的 Java 虚拟机上, 并为生物实体提供生存和活动的环境。生物网络平台提供了一套生物实体经常使用的 runtime 服务^[2]: 生命周期循环服务、能量管理服务、资源侦听和分配服务、社会网络服务、生物实体发现服务、关系管理服务、资源感知服务、迁移服务、信息素发送服务、拓扑结构侦听服务等。值得注意的是, 这些基本的服务有很多操作都是建立在生物网络语言, 即消息的基础上的。下面将详细地讨论 BNCL 语言的设计与实现, 以解决生物网络平台的通信问题。

3 BNCL 语言的设计

基于以下三个原则, 我们设计 BNCL 语言作为生物网络的通信语言: (1) 全面覆盖大范围的通信情况; (2) 减轻生物实体的设计负担; (3) 减少生物实体提供通信动作时的冗余和模糊。BNCL 可看作智能物理主体基金(Foundation for

^{*}) 基金项目: 国家自然科学基金青年基金(60004006); 上海市青年科技启明星计划(00QD14038)、上海市青年教师基金(01QN33)。皋 磊 博士研究生, 从事网络智能自动化与网络智能计算等研究。任立红 副教授, 博士, 从事网络智能自动化、DNA 计算和软计算等研究。张向锋 硕士研究生, 从事网络智能自动化与网络智能计算等研究。丁永生 教授, 博士生导师, 从事网络智能计算、计算智能、DNA 计算、人工免疫系统等研究。

Intelligent Physical Agents, FIPA) 组织规范定义的 ACL 语言的一个子集^[5]。ACL 语言没有强制任何表示消息内容的形式化方式, 但却定义了单独的消息类型, 特别是消息的格式和类型的含义。消息类型对 FIPA 规范定义的语法规则是一个参考, 这些类型对于整个消息及动作和消息内容都赋予了一个意义。BNCL 重用了 ACL 中的一些通信动作, 并定义了一些生物网络特有的动作。在生物网络中, 生物实体通过 BNCL 进行通信, 所有有关生物实体必须都知道通信语言的语义。消息的语义知识是分布式问题求解的核心内容, 因此每个生物

实体或者平台必须带有 ACL 解释引擎。

3.1 BNCL 的消息结构

基于社会交互思想设计出的 FIPA ACL 具有语言简单、完整和简明的特点。它定义了一些被广泛接受的通用的主体行为特性, 并允许主体可以有选择地执行所有预定义的消息类型和协议或其中的任意子集。

BNCL 是 FIPA ACL 的子集, 所以它符合 ACL 消息的消息结构。BNCL 的消息结构如图 1 所示。

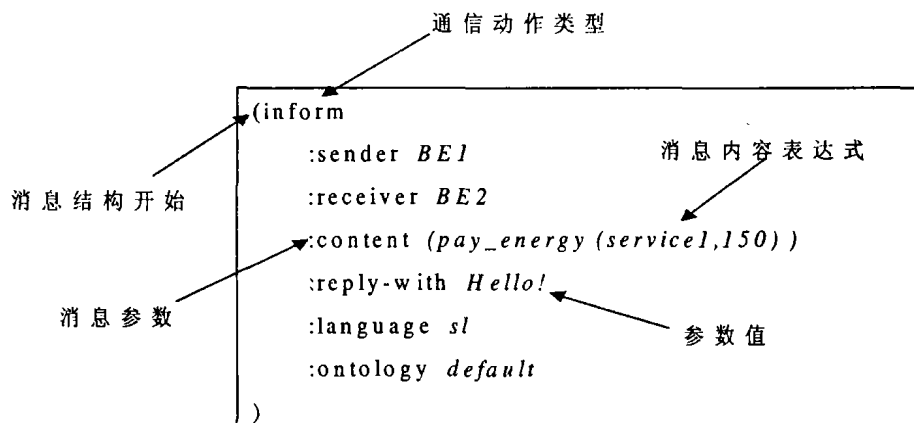


图 1 BNCL 的消息结构

BNCL 的消息结构包括: 通信动作类型(消息类型如请求、通知、查询)和参数值列表(消息头信息和有效消息)。消息的第一个元素是确定通信动作和定义消息的重要含义。接下来是一系列由冒号开头的参数关键字引导的消息参数。其中 content 参数包含用某种形式编码的消息内容, 其它参数用于帮助消息传输服务正确地传递消息(如 sender, receiver), 或者帮助接收者解释消息含义(如 language, ontology), 或者帮助接收者回复时能满足发送者的要求(如 reply-with, reply by)。

3.2 BNCL 的通信动作类型

表 1 BNCL 通信动作的目录

通信动作类型	通信动作的语义解释	生物网络特有
request	请求接收者完成一项服务, 接受者会返回 agree、refuse 或 not-understood 动作	
agree	同意完成一项服务	
refuse	拒绝请求的服务, 并解释拒绝的原因	
not-understood	通知发送者不明白收到的信息	
inform	通知消息发送者知道了什么, 用来回答 request 或 query 动作的	
failure	通知尝试了一个动作, 但失败了	
defray	支付能量给一个提供服务的生物实体	✓
query-ref	向另一个生物实体询问符合询问参考表达的信息, 接受者返回 inform、refuse 或 not-understood 动作	
query-if	询问另一个实体一个特定的命题是否正确, 接收者返回 inform、refuse 或 not-understood 动作	
advertise	向邻近的实体通报自己的信息(如元数据、实体提供的信息等)。将实体加入到生物网络环境中时会用到该动作	✓
convene	通报发送者正在寻找某种特点的实体	✓

除了重用 FIPA ACL 的部分通信动作外, 根据生物网络中服务内容的需要, BNCL 提出了一些新的通信动作, 表 1 为 BNCL 通信动作的目录。其中, 打“✓”的通信动作类型为生物网络所特有的。

3.3 BNCL 的消息参数

BNCL 消息包括一组参数。这些参数在消息中可以按照任意的顺序排列, 但是所有参数中只有一个 receiver 参数是必要的, 这样消息传输服务才能正确地传递消息。没有接收者的消息是没用的消息。但是, 有效的通信确切地需要哪些其它参数还是根据情况不同而不同。BNCL 预定义的消息参数如表 2 所示:

表 2 BNCL 预定义消息参数与含义

消息参数	含义
sender	表示消息发送者的身份, 例如发出通信动作的生物实体的全局唯一 ID(GUID)
receiver	表示消息接收实体的 GUID
content	表示消息的内容(即消息的有效负荷, 使用 XML 语言描述)
language	表示消息内容时所使用的语言(使用 XML 语言)
ontology	表示在内容表达中给符号赋予某种意义(利用生物网络特有的本体论)
conversation-id	进行的通信动作序列, 即消息的 ID
reply-with	能被响应的生物实体用来辨识消息的消息 ID
in-reply-to	回复早期动作的消息 ID
interaction-protocol	生物实体交互时使用的协议
originator	代理生物实体请求消息

3.4 BNCL 的消息内容

消息内容表示通信动作申请什么。如果通信动作被认为是一个句子, 则内容就是句子的语法元素。内容一般用一种语言进行编码, 并且这种语言在 language 参数中说明。对内容

语言的要求是它应具备以下特性:它必须能表示命题、对象和动作。虽然任何已有的语言可以有更多其它特性,但在这里不需要其它特性。一个消息的内容是指通信动作中的领域表达式。它是在消息中以:content 参数值进行编码。FIPA 规范没有强制使用一种特定的有标准化基础的内容编码语言,所以开发人员可以选择合适的语言对其内容进行编码。而在 BNCL 语言中的内容描述则是通过 XML 来进行表示的。此时,ACL 解释器将生成一个表示全部嵌入语言式的词汇符号。一旦消息被解释,表示内容表达式的符号通过:language 参数根据编码方案能被解释。

4 基于 XML 的 BNCL 应用

XML 对于 Internet 来说,是一种很重要的技术,它是文档结构内容的通用标准。XML 具有简单、易于操作、可读性强、压缩性能良好、内容检索能力强、可以自我描述等特点。XML 因为其良好的数据存储格式、可扩展性、高度结构化、便于网络传输等特点,已经成为业界倡导的通用描述语言。它提供了丰富的语法来存储数据、携带数据和交换数据,能方便地在独立的平台之间交换数据和针对特定的应用定义自己的标记语言。

由于 XML 在描述数据和元数据方面具有出众的能力,因此生物实体能够十分容易地理解基于 XML 的描述信息。在应用中,我们首先根据需要需要使用 DTD(文档类型定义)定义生物实体通信信息的 XML 文档模板,然后将具体的 XML 文档嵌入到 BNCL 框架的内容体中。下面以供应链管理中的一个带有折扣的商品销售服务为例,来说明基于 XML 的 BNCL 的应用。图 2 中,显示了该服务的通信消息序列。其中,生物实体 BE1 代表一个商品的生产厂家,BE2 代表一个销售代理,而 BE3 则是一个客户,这三者互相作用实现一个带折扣的商品销售服务。每个生物实体交换 BNCL 消息来完成不同的通信内容,实现不同的功能。具体过程如下:

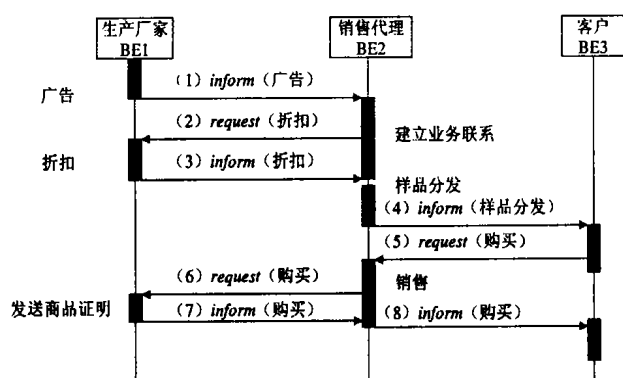


图 2 带有折扣的商品销售服务的消息序列图

① 当 BE1 的服务接入超过预先设计的门限值时,它会调用“广告”功能块(这里功能块是指实现某种功能的事先封装好的消息序列),发送一个 *inform* 消息,即图 2 中的 (1) *inform*(广告)。

② 一旦接到从 BE1 来的 *inform* 消息,BE2 会检查所有可能的服务功能块的预先条件。假定该消息满足“建立业务联系”功能块的预先条件,则一个“建立业务联系”的功能块被调用。

③ 然后,“建立业务联系”功能块就发出一个 *request* 消息去请求折扣销售,BE1 使用 *inform* 消息来回来自 BE2 的

请求,如图 2 中(2)*request*(折扣)和(3)*inform*(折扣)。

④ 当分别接收消息(1)、(2)、(3)时,通过 BE1 和 BE2 调用“关系建立”功能块。因此,BE1 和 BE2 建立一种关系。并且通过新的关系建立触发,BE2 调用“样品分发”功能块并发出一个样品信息给客户,如图 2 的(4)*inform*(样品分发)。

⑤ 接收到样品信息,BE3 会调用一个“UI(用户界面)”功能块并在屏幕上显示样品。客户如果需要该商品,会向 BE2 提出购买请求,如图 2 中(5)*request*(购买)。这个请求将依次向前被传递给 BE1,如图 2 的(6)*request*(购买)。这个购买商品的证明被由 BE1 发出经过 BE2 回送给 BE3,如图 2 中(7)*inform*(购买)和(8)*inform*(购买)。在这样一个相互作用中,一个新的关系就在 BE1 和 BE3 间建立起来。一旦关系建立起来,BE3 就可以凭着购买商品的证明来向 BE2 提取 BE1 提供的商品。

以上服务过程完全可以通过 BNCL 来完成,我们在生物网络平台也通过 BNCL 实现了图 2 的服务通信消息序列。下面以图 2 中(2)*request*(折扣)消息为例,说明基于 XML 的 BNCL 消息的格式:

```
(request
:sender BE2
:receiver BE1
:language XML
:interaction-protocol BNCL-request
:ontology BNCL-ontology
:content (? xml version="1.0")
<action>ask discount</action>
<actor>BE1</actor>
<args>null</args>
<protocol>request-inform</protocol>
<reply-with>yes or no,discout %</reply-with>
<ontology>default</ontology>
)
```

由上面的应用实例可以看出,将 XML 技术应用到生物网络的 BNCL 中,将极大地提高生物实体通信和协作的灵活性和易操作性。

结语 一种简单易操作的、灵活有效的通信语言是生物网络能否实现自适应性、可调整性和可生存性等特点的关键。本文结合 ACL 和 XML 这两种语言的优势,设计了一种 BNCL 来实现生物实体间灵活复杂的协调策略。并通过在供应链管理中一个带有折扣的商品销售服务的应用,表明了该语言给生物网络系统带来的智能性和可扩展性。

BNCL 的设计和实现为动态的生物实体形成超级实体满足用户需要的服务提供了一个基本解决方案。下一步将继续研究生物实体之间、生物实体与生物群落之间以及生物群落之间的通信模型,以使 BNCL 能更好地为生物网路服务,方便用户构造出丰富的网络应用。

随着分布式应用程序的增多和 Agent 技术的兴起,人们研究的难点大多集中于应用程序的交互和 Agent 间的协作上,BNCL 也将为解决这些问题提供一种新的思路。

参考文献

- 1 丁永生,任立红.一种基于免疫实现计算的生物网络结构的设计、控制与决策,2003,18(2)
- 2 任立红,丁永生.一种新颖的基于生态网络计算的网路仿真平台、系统仿真学报,2002,14(11): 1497~1499,1503
- 3 Bhalla U S, Lyengar R. Emergent properties of networks of biological signaling pathways. Science, 1999, 283: 381~387
- 4 Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Second Edition) Recommendation, World Wide Web Consortium, 2000. <http://www.w3c.org/TR/REC-xml/>
- 5 FIPA, Agent Communication Language, FIPA Spec 2, 1999, 02