# 一种电子政务数据交换覆盖网络

刘旭东 马晓轩 熊 璋 韩 军

(北京航空航天大学 计算机学院，北京 100191)

**摘 要**：数据交换是电子政务应用的核心问题.构建一种应用层数据交换覆盖网络成为解决这类问题的关键.分析了电子政务数据交换的特点，提出了电子政务数据交换覆盖网络eGON(e-Government data exchange Overlay Network)的概念模型，在树型结构组织网络的基础上，引入结点间组织距离和结点适应度概念，提出了一种eGON拓扑结构模型——双尺度异质组织网络模型DSHON(Dual Scale Heterogeneous Organization Network)，该模型按照与组织距离和能力适应度2种尺度相关的概率添加快捷边，实现网络性能改善.设计了eGON的总体结构、构建与维护机制、路由维护协议和基于组织距离优先的消息路由算法，并进行了路由算法实验验证.

**关 键 词**：网络；数据传输；模型

**中图分类号**：TP 393.09

**文献标识码**：A **文 章 编 号**：1001-5965(2008)07-0743-04

## e-Government data exchange overlay network

Liu Xudong Ma Xiaoxuan Xiong Zhang Han Jun

(School of Computer Science and Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

**Abstract**: Data exchange is the kernel of e-Government. The establishment of an e-Government data exchange overlay network on application layer is one of the crucial parts of the solution to this issue. Based on the analysis of the characteristics of e-Government data exchange, an overlay network conceptual model, eGON (e-Government Data Exchange Overlay Network), was defined. The concepts of "Organizational Distance" between nodes and "Fitness" of a certain node were introduced, and a structural model, which was called DSHON(Dual Scale Heterogeneous Organization Network model), was proposed for eGON accordingly. The proposed model was based on the structure of tree and the network performance was promoted by adding shortcuts to the original tree according to the organizational distance between and the fitness of the nodes. The architecture, construction and maintenance mechanism, routing maintenance protocol and an organizational distance priority routing algorithm were developed for eGON. Simulations were performed for the proposed message routing algorithm and the results demonstrate the effectiveness and efficiency of the algorithm.

**Key words**: networks; data transmission; models

随着Internet技术的发展，电子政务已经成为世界各国信息化的重点.数据交换是电子政务应用共性、基础性和关键性的需求，是实现政务信息资源共享与业务协同的关键.由于网络的复杂性和电子政务应用的多样性，使得电子政务领域的数据交换在交换网络结构、消息传输路由与控制等方面面临许多新的问题，这些问题的解决需要底层物理网络提供比当前IP层更多的服务支持，然而，现有IP网络架构难以实现这样的需求，而覆盖网络(Overlay Network)技术的出现为解

**收稿日期**：2007-06-13

**基金项目**：国家自然科学基金资助项目(60473010,90412011)

**作者简介**：刘旭东(1965—)，男，湖南益阳人，教授，liuxd@buaa.edu.cn.

决这类问题提供了一种可行的途径[1].

目前覆盖网络的研究主要集中在拓扑结构、路由协议、数据搜索技术、应用层组播技术等几个方面.近来的研究趋向于将数据交换等类似系统构建在特定的覆盖网络之上,通过覆盖网络提供比底层物理网络更多的应用层服务支撑,以实现不同的应用目标和服务质量[2-4].

本文针对电子政务领域数据交换的特点,提出一种面向电子政务的数据交换覆盖网络 eGON(e-Government Data Exchange Overlay Network)概念模型和 eGON 拓扑结构模型,设计了 eGON 的总体结构、构建与维护机制、路由维护协议和相关算法,并进行算法实验验证.

## 1 eGON 概念模型

与 P2P、RON[3] 等其它覆盖网络相比,eGON 具有如下特殊性:①可管理:eGON 本质上是非自组织的.一个 eGON 对应一个政府组织体系,结点代表政府组织部门,eGON 中结点的属性和状态需要进行统一管理.②结构化:eGON 必须体现政府体系的组织结构关系.③半动态:eGON 的结点的注册和注销是动态的;结点间组织关系是固定的,结点间数据交换关系是动态的.

由于 eGON 的这些特殊性,需要针对 eGON 的应用背景对 eGON 的结构、构建方法、路由传输机制等进行针对性的研究.

**定义 1** eGON 概念模型. eGON 是一个四元组 $\mathrm{eGON}=(G,M_r,B_r,S)$,其中 $G=(V,E)$ 指建立在电子政务物理网络之上的虚拟网络,$V$ 是结点的集合,$E$ 是结点间连接边的结合;$M_r$ 是 $G$ 的结构模型,决定了 $G$ 的拓扑结构和构造规则;$B_r$ 是业务规则或协议,决定了 eGON 的功能;$S$ 是 eGON 提供的服务集合.$M_r$ 和 $B_r$ 与应用相关,由业务需求决定.

## 2 eGON 的拓扑结构

eGON 的设计目标是面向电子政务的数据交换,数据交换可以看作是构建在行政组织网络之上的信息化应用,因此,组织网络的结构特征对数据交换尤为重要.

大多数实际网络的结构模型都是在增长和择优连接的演化机制下构造而成的,这样一种演化机制体现为结点的增长特性和边连接偏好.组织网络中结点代表政府机构,边代表结点之间的行政隶属关系,这样就形成一种树型结构的组织网络(称为组织树).由于树型结构网络存在单点故障和容易造成传输拥塞等局限性,不适合于 eGON,因此,在组织树的基础上根据某种规则增加结点之间的边连接,是 eGON 拓扑结构模型优化的基本思路.

本文采用组织距离和结点适应度分别衡量结点之间的组织关系和结点的服务能力.

**定义 2** 组织距离 $T=(V,E)$ 是一组织树,$v_i\in V,v_j\in V,v_i\neq v_j,v_k$ 是 $v_i$ 和 $v_j$ 的最小共同祖先 LCA(Lowest Common Ancestor),$h_i,h_j$ 和 $h_k$ 分别是其层次,$d_{ik},d_{jk}$ 分别是 $v_i$ 和 $v_j$ 到 $v_k$ 的逻辑距离(即最短路径所包含的边数),则 $v_i$ 和 $v_j$ 间的组织距离由式(1)计算得到(见图 1),记为 $d_{ij}$.

$$d'_{ij}=\begin{cases}d_{ik}^2+d_{jk}^2-(h_i+h_j)/h_ih_j & \text{if}(v_i,v_j)\notin E\\ 1 & \text{if}(v_i,v_j)\in E\end{cases}\tag{1}$$

组织树中,根结点层次最小,为 1,对于任意结点 $v_i$ 和 $v_j$,均有 $d_{ij}\geqslant 1$.

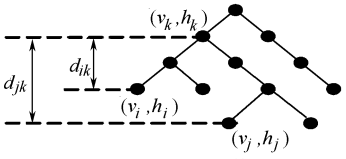



图 1 组织距离模型

**定义 3** 适应度 $T=(V,E)$ 是一组织树,$V$ 是结点的集合,$f:V\to R$ 是分配给每个结点的一个数值($0<f\leqslant 1$),称 $f$ 为结点的适应度(fitness).对于结点 $v_i$ 和 $v_j$,其适应度乘积为 $f_{ij}=f_i\times f_j$.

在组织树基础上,组织网络模型的优化策略是:组织距离越小,结点间边连接概率越大;适应度乘积越大,结点间边连接概率越大.

对于任意结点 $v_i$ 和 $v_j$,若其边连接概率 $P_{ij}$ 满足式(2)的要求,$P_{ij}$ 就是满足上述组织网络模型优化策略的边连接概率模型.

$$P_{ij}\propto \mathrm{e}^{(-d'_{ij}-1)\lambda}\mathrm{e}^{-(1-f_{ij})\zeta}\tag{2}$$

模型中,$\lambda$ 和 $\zeta$ 是 2 个反映模型对组织距离和适应度的敏感程度的系数.实验数据表明,当 $0<\lambda\leqslant 1,0\leqslant\zeta\leqslant 10$ 时,可以获得比较满意的概率分布数据.根据上述概率模型添加的边称为快捷边(Shortcut link).由于该模型针对组织网络中结点的异质性特征引入了适应度概念,同时考虑了组织距离和适应度 2 个尺度对快捷边连接的影响,所以称该组织网络模型为"双尺度异质组织网络模型 DSHON(Dual Scale Heterogeneous Organization Network)",简称双尺度异质模型.

基于 DSHON 的 eGON 拓扑结构如图 2 所示. eGON 中,属于组织树中的边称为 Tree link,根据概率模型添加的边称为 Shortcut link. eGON 采用一种改进的前缀编码作为结点 ID.

eGON 中结点的邻居分为两部分,一部分是通过 Tree link 连接的父子结点,只要结点不注销,这部分连接状态不会变化,无需动态维护;另一部分是通过 Shortcut link 连接的结点,这部分连接是动态变化的,需要动态维护. 因此,eGON 结点路由表也分为两部分,一部分称为 Tree-Entry,另一部分称为 Shortcut-Entry. 每一路由表项又包括结点 ID、IP 地址、路径状态等.

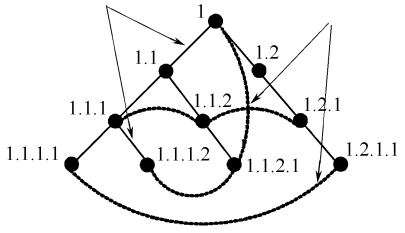



图 2　eGON 拓扑结构图

## 3　eGON 的构建与维护

DSHON 模型的快捷边添加概率与网络的结点规模、结点位置关系和适应度等信息相关. 因此,在 eGON 的构建过程中,系统必须掌握当前网络的结点数、所有结点的位置和适应度等全局信息,才能据此计算出每一条快捷边的连接概率,并按轮盘赌算法确定具体连接的快捷边. 另一方面,eGON 不是自组织网络,网络需要统一管理. 因此,在 eGON 中采用一台中央服务器作为管理服务器,负责整个 eGON 网络的静态配置、结点的注册和注销、以及快捷边重构等动态维护.

在结点注册、注销和网络快捷边重构等 3 种情况下 eGON 的连接边都将发生变化. 本节重点讨论快捷边重构时的路由动态维护.

当 eGON 中结点变化达到阀值时,管理服务器将按 DSHON 模型重新构造快捷边,然后对网络中所有的结点路由信息进行更新. 结点的路由信息中,Tree-Entry 不会发生变化,不需要更新,所以只需要更新 Shortcut-Entry. 路由信息更新从 eGON 的根结点开始,路由更新过程如下:

1) 服务器向根结点发送路由更新消息,其中包含根结点的路由更新信息;

2) 根结点收到路由更新消息,回送确认消息,并更新其 Shortcut-Entry,然后向服务器发送子结点连接请求消息,请求所有子结点的快捷边信息;

3) 根结点从服务器接收子结点连接应答消息,消息中包含所有子结点的快捷边信息,然后向其子结点逐个发送路由更新消息;如果某个子结点因为关机或故障而脱机,根结点向服务器发送结点脱机消息;

4) 每个收到路由更新消息的结点都像根结点一样,依次执行步骤 2)和 3)完成路由更新.

5) 当管理服务器收到某结点脱机消息后,服务器向该结点的所有子结点发送路由更新消息,以更新其子结点的路由表,在更新其子结点的路由表过程中,如果又遇到结点脱机,服务器将继续向新的脱机结点的子结点发送路由更新消息,直至不再遇到脱机结点为止.

由于路由信息更新是在同一层结点中并行进行的,所以,整个网络的路由更新复杂度只与网络的层次数相关,为 $O(\log N)$.

## 4　eGON 的消息路由

eGON 中每个结点维护着自己的邻居信息. 根据 DSHON 模型可知,2 个结点的组织距离越小,它们之间存在快捷边连接的可能性就越大. 因此,在消息路由时,选择与目标结点组织距离最小的邻居结点作为消息传递的下一跳,当存在多个符合条件的下跳结点时,选择与当前结点之间 RTT 最小的结点作为下跳结点. 这就是 eGON 消息路由的基本策略.

### 4.1　消息路由算法

根据上面的分析,本文提出了基于组织距离优先的消息路由算法 ODPR(Organization Distance Priority Routing algorithm).

消息路由的基本思路如下:

1) 邻居结点中包含目标结点且路径可达,下跳结点为目标结点,算法结束;

2) 邻居结点中包含目标结点的父结点或子结点且路径可达,下跳结点为父结点或子结点,算法结束;

3) 根据结点 ID 计算邻居结点与目标结点之间的组织距离. 选择与目标结点组织距离最小、路径可达且与当前结点 RTT 最小的结点作为下跳结点.

**定理 1**　在 eGON 中,如果所有路径可达,ODPR 算法所选择的消息传递结点序列不存在路由回路.

**证明**　假定 $v_i$ 是当前结点,$v_k$ 是目标结点,$v_j$ 是经过 ODPR 路由算法确定的下跳结点,$h_i$,

$h_j$ 和 $h_k$ 分别是3个结点的层次，$d'_{ik}$ 和 $d'_{jk}$ 分别是 $v_i$ 和 $v_j$ 到目标结点 $v_k$ 的组织距离.

根据ODPR算法，当所有路径可达时，结点 $v_j$ 是 $v_i$ 邻居结点集合 $\Gamma(v_i)$ 中与目标结点组织距离最小的结点，即

$$\forall v_p \in \Gamma(v_i) \qquad d'_{jk} \leqslant d'_{pk} \tag{3}$$

$v_i$ 和 $v_k$ 在网络中的关系有2种可能：$v_i$ 是 $v_k$ 的祖先，或 $v_i$ 不是 $v_k$ 的祖先.

若 $v_i$ 是 $v_k$ 的祖先，在 $\Gamma(v_i)$ 中一定包括 $v_i$ 的子结点，假定子结点为 $v_q$，显然 $h_q = h_i + 1$，$d_{qk} = d_{ik} - 1$. $\mathrm{LCA}(v_i, v_k) = v_i$，$\mathrm{LCA}(v_q, v_k) = v_q$，于是有：

$$d'_{ik} = \sqrt{d_{ik}^2 - (h_i + h_k)/h_i \times h_k} \tag{4}$$

$$d'_{qk} = \sqrt{(d_{ik} - 1)^2 - (h_i + h_k + 1)/(h_i + 1)h_k} \tag{5}$$

$$(d'_{ik})^2 - (d'_{qk})^2 = (2d_{ik} - 1) - 1/h_i(h_i + 1) \tag{6}$$

因为 $d_{ik} \geqslant 1$，$h_i > 1$，所以 $(d'_{ik})^2 - (d'_{qk})^2 > 0$，所以有 $d'_{qk} < d'_{ik}$，由式(3)有：

$$d'_{jk} < d'_{ik} \tag{7}$$

若 $v_i$ 不是 $v_k$ 的祖先，在 $\Gamma(v_i)$ 中一定包括 $v_i$ 的父结点，假定父结点为 $v_q$，显然 $h_q = h_i - 1$，假定 $\mathrm{LCA}(v_i, v_k) = v_r$，显然，$\mathrm{LCA}(v_q, v_k) = v_r$，且 $d_{qr} = d_{ir} - 1$. 同样可证明：

$$d'_{jk} < d'_{ik} \tag{8}$$

综合式(7)和式(8)，在任何情况下均有 $d'_{jk} < d'_{ik}$ 成立，表明ODPR路由算法选择的传递结点序列是一个与目标结点组织距离递减的序列，很显然，不可能存在路由回路.

**证毕**

### 4.2 路由算法仿真实验

模拟实验在层数为4到8层的3元完全组织树基础上构建的DSHON网络上分别进行，结点数分别为40，121，364，1 093和3 280，分别采用ODPR算法与随机游走算法RW(Random Walking)进行多次仿真实验，计算平均路由跳数. 实验DSHON模型添加的快捷边数等于组织树结点数的5倍. 实验结果如图3所示.

由图3可以看出：ODPR与RW相比，平均路由跳数明显小，随着结点数的增加，2种算法的平均路由跳数都在增加，但ODPR增长更趋于平缓，实验验证了算法的有效性.

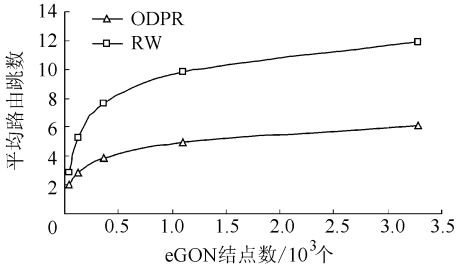



图3 ODPR与RW算法的平均路由跳数

## 5 结束语

本文针对电子政务应用的需求，提出了电子政务数据交换覆盖网络eGON的概念模型，根据电子政务数据交换的特点，研究并提出了一种适合eGON拓扑结构的双尺度异质组织网络模型，即DSHON模型，并对eGON进行了总体设计，描述了eGON的构建与维护机制，设计了eGON路由维护协议，提出了基于组织距离优先的消息路由算法，仿真实验验证了路由算法的有效性.

目前eGON已经在黑龙江省等政府部门的电子政务中成功应用. 下一步将针对eGON的传输效率、拥塞控制机制等方面进行进一步的研究.

### 参考文献（References）

[1] Clark D, Lehr B, Bauer S, et al. The growth of Internet overlay networks: implications for architecture, industry structure and policy[C]//Proceedings of the 33rd Telecommunications Policy Research Conference, 2005

[2] Scholl H J. Interoperability in e-government: more than just smart middleware[C]//Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences. Hawaii: [s. n.], 2005:123－133

[3] Andersen D, Balakrishnan H, Kaashoek F, et al. Resilient overlay networks[C]//Proceedings of the 18th ACM SOSP '01. Chateau Lake Louise, Canada: [s. n.], 2001:133－145

[4] Li Zhi, Mohapatra P. The impact of topology on overlay routing service[C]//Proceedings of IEEE INFOCOM'04. Hong Kong: [s. n.], 2004:418－421

(责任编辑：张 嵘)