

自组织网络的元指标体系^①

Meta - Metrics Architecture of Self Organization Network

孙韩林 金跃辉 (北京邮电大学 网络与交换技术国家重点实验室 北京 100876)

崔毅东 (北京邮电大学 电信工程学院 北京 100876)

蒋砚军 (北京邮电大学 计算机科学与技术学院 北京 100876)

摘要: 自组织网络逐渐成为网络技术发展的重要方向之一。自组织网络原来只是特指无线自组织网络;随着 P2P 等具有自组织特性网络的出现,自组织网络的概念逐渐宽泛化。把一切具有自发现、自管理、自配置、自组织等自组织特性的网络统称为广义自组织网络。现有的性能指标无法满足自组织网络性能刻画的需求。本文结合元数据体系的思想,提出了元指标体系的概念,并把这一概念应用到 Ad hoc 网络中。

关键词: 自组织网络 元数据体系 元指标体系 Ad hoc 网络

随着通信技术的快速发展,自组织网络逐渐成为网络技术发展的重要方向之一。自组织网络原来只是特指无线自组织网络,如 Ad hoc 网络、车载网络、传感器网络等。随着 P2P 等具有自组织特性网络的出现,自组织网络的概念逐渐宽泛化,不但包括通常所指的无线自组织网络,还包括具有自组织特性的 P2P 网络和 IP 网络(IP 动态路由)。通过与其它技术的交叉、融合,讨论自组织网络时还会涉及 RFID 网络、网格技术等。本文把一切具有自发现(Self - discovery)、自配置(Self - Configuring)、自管理(Self - Management)、自组织(Self - Organization)等自组织特性的网络统称为广义自组织网络(General Self Organization Network, GSON)。后文中提及的自组织网络如无特别说明均指广义自组织网络。

网络性能指标体系的建立是有效刻画网络性能状况的重要手段。标准化组织如 IETF、ITU 等制定了一系列网络性能指标的标准或草案。IETF 传输领域的工作组 IPPM 制定了 IP 网的指标定义框架(RFC2330),主要研究了性能评价指标制定和测量中的基本问题,并制定了如时延、丢包、连接性、带宽等一系列指标的标准。ITU 也制定了类似的标准。

然而,自组织网络有多种具体形态,已有的指标集中关注网络层(IP 层)的性能,无法满足刻画自组织网络性能的需求,因而需要提出新的指标定义机制并增加新的指标,以全面刻画自组织网络的性能状况。本文把元数据体系的思想应用到指标定义中,提出了元指标体系的概念。元指标体系提供灵活的可扩展性,独立于具体的网络形态,也可以推广到其他网络中。

本文后续部分的安排如下。第 1 部分简要介绍了性能指标;第 2 部分介绍了元数据体系的思想;第 3 部分详细论述了自组织网络元指标体系;第 4 部分以 Ad hoc 网络为例,说明了元指标的应用;最后是结束语。

1 RFC2330 IP 性能指标定义

性能指标是反映网络性能状况和可靠性的量。IETF RFC2330 给出了 IP 网中制定指标的准则:

- (1) 指标应该有明确的定义;
- (2) 指标的方法应该有可以重现的特性;
- (3) 对于相同技术的 IP 区域完全无偏见;
- (4) 对用户和提供者理解网络性能有价值;
- (5) 必须避免导致虚假性能目标的产生。

^① 基金项目:863 计划,面向自组织网络的安全接入、认证、服务质量控制和监测技术研究(2006AA01Z235);教育部留学归国人员教学、科研建设项目

对定义的每一个具体指标,还应提供相应的一种或多种测量方法。测量方法包括直接测量、从低层的指标映射等。但测量方法本身并不是标准的内容。

RFC2330 中把性能指标分为相互独立却又相互关联的三种类型:

(1) Singletons: 具有原子性 (atomic) 的指标。例如,从一台主机到另一台主机的“块吞吐能量”,尽管涉及一系列 IP 包,但它是一个 singleton 指标。

(2) Samples: 对给定的 Singleton 指标,把它的一系列实例组合在一起就形成 Sample 指标。例如,从一台主机到另一台主机 1 小时内的单向时延,是间隔服从均值为 1 秒的 Poisson 分布的单向时延序列。

(3) Statistics: 对给定的 Samples 指标,计算其统计特性,形成 Statistics 指标。例如,上述单向时延的 Sample 指标的平均值即是一个 Statistic 指标。

RFC2330 还定义了指标的合成、指标测量中的时间问题等。在定义元指标体系时,应参考并遵循这些准则。

2 元数据体系结构

元数据体系的核心思想是提供可扩展性。元数据体系结构包括四个层次,如图 1 所示。

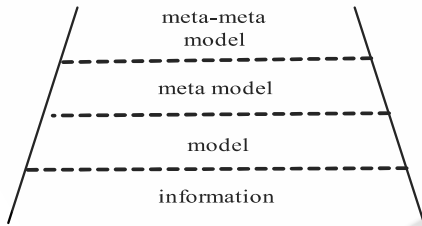


图 1 元数据体系结构

其中,信息层 (information layer) 由所要描述的数据组成;模型层 (model layer) 由用于描述信息层数据的数据构成;元模型层 (meta model) 由用于定义模型层数据的结构和语义的数据构成;元元模型 (meta - meta model) 层由用于定义元模型层数据的结构和语义的数据构成,它是元数据体系结构的基础。分四层的目的是为了支持多个模型和元模型,以提供最大的可扩展性。

元数据体系结构中,上层的模型比它下层的模型更抽象、简洁;下层的模型比上层的模型更具体、丰富。

3 自组织网络的元指标体系

自组织网络有多种网络形态。在层次化网络模型中,具体的网络关注的指标侧重于不同层,例如 Ad hoc 等无线网络中,除 IP 层指标外,MAC 层的性能指标也在关注之列;P2P 网络是一个覆盖网络,更关注应用层的性能指标。

把元数据体系结构的思想应用到指标定义中,形成元指标体系。对应元数据体系结构,元指标体系也分为四层,分别是元元指标层 (meta - meta metric layer)、元指标层 (meta metric layer)、指标层 (metric layer) 以及指标实例层 (metric instance layer),见图 2。它们在不同抽象程度的网络视图上定义测量指标。

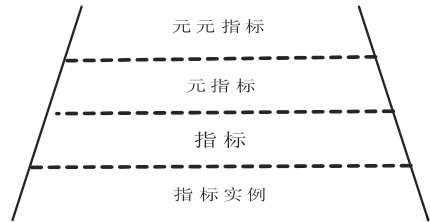


图 2 元指标体系结构

元指标体系独立于各种具体的网络形态,在抽象的层次上描述了基本的测量内容,界定了各种网络测量指标的来源,并在一定的映射函数下,可以导出具体自组织网络的测量指标。

3.1 元元指标层

从最抽象的角度看待网络,它所完成的功能就是把数据分组从源端传送到目的端。在上述抽象中,网络的范围局限于其中的节点可独立唯一标识。如,从数据链路层看网络,网络仅由可相互通信的硬件地址 (如 MAC 地址) 标识的节点构成,范围有限;从网络层看,网络由网络地址 (如 IP 地址) 构成,其范围可涵盖整个 Internet。不论在何种范围内,网络的功能都是传送某种格式的分组数据。元元指标即在可相互通信的网络范围内定义的性能指标,其网络视图如图 3 所示。

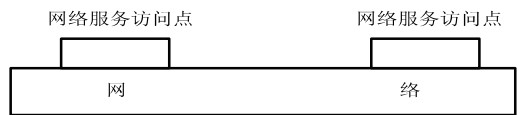


图 3 元元指标网络视图

在元元指标的网络视图中,网络通过网络服务访问点(Network Service Access Point, NSAP)提供服务;所提供的服务即是在服务访问点间传送网络协议数据单元(Network Protocol Data Unit, NPDU)。网络可以是简单的链路,也可以是由链路和交换、路由设备构成的复杂系统。

网络服务分为面向连接服务和无连接服务。在面向连接的服务中,源 NSAP(Source NSAP, SNSAP)和目的 NSAP(Destination NSAP, DNSAP)传输网络协议数据单元前,需先建立连接;在传输过程中或传输完成后,SNSAP 和 DNSAP 均可关闭它们之间的连接。面向连接服务提供按序、无差错服务。无连接的网路中,SNSAP 向 DNSAP 发送 NPDU,DNSAP 或者发送确认,或者不发送确认,NPDU 可能出错、丢失或不按发送顺序到达 DNSAP。

元元指标应包括以下几方面内容:

- (1) 用于定义指标所需的抽象数据类型;
- (2) 传输性能指标,如单/双向时延、时延抖动、丢包率、带宽、连接建立时延等;
- (3) 可用性指标,如可用性百分比、不可用百分比等;
- (4) 稳定性指标,如拓扑变化率、链路持续时间等。

3.2 元指标层

现有的网络模型都是分层模型,如 ISO 的七层模型,TCP/IP 的四层模型等。模型的每一层次都有相应的性能指标。元指标既是在类似 TCP/IP 的四层模型上定义性能指标,其网络视图见图 4。

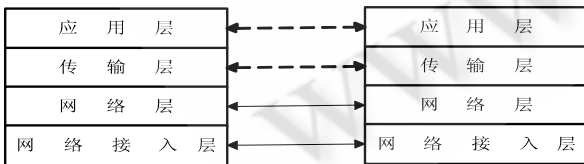


图 4 元指标网络视图

在元指标视图中,每一协议层都是一种网络视图;元元指标即是对各层性能指标的进一步抽象。

3.3 指标层和指标实例层

定义了元指标后,可以通过一定函数,把元指标映射到具体的自组织网络中,形成适合该网络的性能指

标集,即指标层数据。

实例层则是通过一定的测量方法获得的具体指标值,对应元数据体系中的信息层数据。

3.4 指标层间的关系

从元元指标层到元指标层,再到指标层,网络的状态越来越具体。在元指标层,网络服务访问点和协议数据单元类型更明确了;在指标层,网络模型中各层所采用的协议等也确定了。这为性能指标的定义提供了更详细的参考信息。利用低层指标定义高层指标的过程,即进行指标映射,就是把具体信息加入到低层指标定义中,形成更具体指标的过程。

元指标体系中,一个元元指标可以映射到多个元指标,一个元指标只能对应一个元元指标,或不对任何元元指标。类似地,元指标可以映射到多个指标,指标只能对应一个元指标。此外,同一层内的指标间可以相互参考,如可用性指标的定义依赖于丢包率指标。元指标是对指标共性的抽象,元元指标则是对元指标共性的抽象。

在映射指标时,尤其从元指标层映射到指标层,不需映射所有的低层指标,只需选取必要的指标;定义各层指标时,除了从低层进行指标映射外,也可以自由增加新的指标。

3.5 性能指标的定义框架

在定义元元指标,或在不同层次引入新的指标时,采用如下的定义框架:

NAME: 指标名称 < (模板) 参数 1, (模板) 参数 2, ... >;

TEMPLATE: 模板参数说明;

ATTRIBUTES: 指标属性;

DEFINITION: 指标定义;

DIMESION: 量纲;

REFERENCE: 相关指标。

其中,模板参数或参数是给指标加入具体信息的窗口,指标映射即是模板参数的(部分)实例化或参数的具体化。REFERENCE(相关指标)则是定义指标时需要参考的其它指标。

定义 DEFINE 机制作为模板参数实例化的方法:

DEFINE 指标 指标类型

因此,在元指标体系中,指标不仅是一个概念,还是一个数据类型。

4 元指标体系在 Ad hoc 网络中的应用实例

Ad hoc 网络是一种典型的自组织网络。限于篇幅,仅以 Ad hoc 网络单向时延和网络可用百分比定义为例,说明元指标体系的应用。

4.1 元元指标定义

首先,定义元元指标(单向时延、网络可用百分比)及元元指标层的基本数据类型。下述定义中 NSAPT 和 NPDU 分别是网络服务访问点类型和网络协议数据单元类型,具体定义略去。

(1) 单向时延元元指标

NAME: MM_One_Way_Delay < class NSAPT, class NPDU >

TEMPLATE:

NSAPT, 网络服务访问点类型;

NPDU, 网络协议数据单元类型;

ATTRIBUTES:

SNSAP: NSAPT, 源网络服务访问点;

DNSAP: NSAPT, 目的网络服务访问点;

NPDU: NPDU, 网络协议数据单元;

DEFINITION:

在 T_0 时刻, SNSAP 向网络发送 NPDU 的第 1 位; 在 T_1 时刻, DNSAP 接收到该 NPDU 的最后 1 位, 则该 NPDU 单向时延为 $T_1 - T_0$ 。SNSAP 与 DNSAP 的时间必须同步。

DIMENSION: micro seconds, seconds

REFERENCE: 无

(2) 网络可用百分比

NAME: MM_Network_Ava_Percent < class NSAPT, class NPDU, float δ , int N, float Lt, int Num >

TEMPLATE:

NSAPT, 网络服务访问点类型;

NPDU, 网络协议数据单元类型;

ATTRIBUTES:

SNSAP: NSAPT, 源网络服务访问点;

DNSAP: NSAPT, 目的网络服务访问点;

NPDU: NPDU, 网络协议数据单元;

δ : 统计区间长度;

N: 状态切换门限;

Lt: NPDU 丢失率门限;

Num: NPDU 发送数门限;

DEFINITION:

在面向连接的网络中, 设测量时间区间为 $[T_0, T_1]$, 将该区间划分为固定长度为 δ 的时间段, 若从第 i 个 δ 开始, 连续的 N 个 δ 时间段内从 SNSAP 到 DNSAP 的 NPDU 丢失率超出门限值 Lt, 则从 $(T_0 + \delta \times i)$ 开始, 网络服务不可用; 在网络服务不可用的情况下, 若从第 j 个 δ 开始, 连续的 N 个 δ 时间段内从 SNSAP 到 DNSAP 的 NPDU 丢失率小于门限值 Lt, 则从 $(T_0 + \delta \times j)$ 开始, 网络服务可用。在 $[T_0, T_1]$ 上所有网络可用时间段之和所占的比例称为网络可用百分比。

在无连接的网络中, 设测量时间区间为 $[T_0, T_1]$, 将该区间划分为长度为 δ 的时间段。若在 δ 时间内从 SNSAP 到 DNSAP 的 NPDU 丢失率超出了门限值 Lt, 则时间段 δ 内网络视为不可用; 否则网络可用。在 δ 时间中, 从 SNSAP 向 DNSAP 中至少发送了至少 Num 个 NPDU, 如果不足 Num 个, 可增加 δ 的长度, 使统计区间内发送的 NPDU 达到 Num 个。在 $[T_0, T_1]$ 上所有网络可用时间段之和所占的比例称为网络可用百分比。

DIMENSION: $[0, 1]$ 上的实数

REFERENCE: MM_Loss_Rate < NSAPT, NPDU >

4.2 元指标定义

然后, 定义元指标(单向时延、网络可用百分比)及元指标层的基本数据类型。下述定义中 M_MAC_NSAP、MAC_NPDU 分别是网络接入层服务访问点和网络接入层协议数据单元类型, M_NET_NSAP、NET_NPDU 分别是网络层服务访问点、网络层协议数据单元类型, M_TRAN_NSAP、TRAN_NPDU 分别是传输层服务访问点和传输层协议数据单元类型, 具体定义略去。

(1) 网络接入层单向时延元指标

DEFINE M_MAC_One_Way_Delay < class MAC_NPDU >

MM_One_Way_delay < M_MAC_NSAP, MAC_NPDU >

(2) 网络层单向时延元指标

DEFINE M_NET_One_Way_Delay < class NET_NPDU >

MM_One_Way_delay < M_NET_NSAP, NET_NPDU >

(3) 传输层单向时延元指标

```
DEFINE M_TRAN_One_Way_Delay < class TRAN_
NPDUT >
```

```
MM_One_Way_delay < M_TRAN_NSAP, TRAN_
NPDUT >
```

(4) 网络层网络可用百分比

```
DEFINE M_NET_Ava_Percent < class NET_NPDUT,
 $\delta$ , N, Lt, Num >
```

```
MM_Network_Ava_Percent < M_NET_NSAP, NET_
NPDUT,  $\delta$ , N, Lt, Num >
```

类似可以定义单向时延的 Sample 指标和 Statistic 指标、网络接入层网络可用百分比、传输层网络可用百分比等。

4.3 指标定义

最后,从元指标层映射到指标层,生成 Ad hoc 网络的单向时延指标、网络层网络可用百分比指标。假设 MAC 层采用 802.11 协议,网络层采用 IP 协议和 DSR 路由协议,传输层则采用 TCP 协议。

(1) Ad hoc 网络接入层单向时延指标

```
DEFINE MAC_One_Way_Delay < 802.11 >
```

```
M_MAC_One_Way_Delay < 802.11 >
```

(2) Ad hoc 网络层单向时延指标

```
DEFINE NET_One_Way_Delay < IP + DSR >
```

```
M_NET_One_Way_Delay < IP + DSR >
```

(3) Ad hoc 传输层单向时延

```
DEFINE TRAN_One_Way_Dealy < TCP >
```

```
M_TRAN_One_Way_Delay < TCP >
```

(4) Ad hoc 网络层网络可用百分比

```
DEFINE NET_Ava_Percent < IP + DSR,  $\delta$ , N, Lt,
Num >
```

```
M_NET_Ava_Percent < IP + DSR,  $\delta$ , N, Lt, Num >
```

4.4 指标实例

定义了指标后,可依据一定的测量方法测量指标实例。

采用元指标体系可以灵活的定义 Ad hoc 网络各个协议层次的指标,从而全面的描述 Ad hoc 网络的性

能状况。

5 结束语

现有的网络性能指标关注于网络层(IP层),无法满足自组织网络性能刻画、测量的需要。本文结合元数据体系的思想,提出了自组织网络的元指标体系,用来定义自组织网络的性能指标。元指标体系分为四层,分别是元元指标层、元指标层、指标层和指标实例层,它们在不同的网络抽象视图上描述了网络的性能指标。元指标体系独立于具体的网络形态,也可以应用在其它非自组织网络中。

文中的元指标体系主要是参考 Ad hoc 网络定义的。纳入更多的自组织网络形态、进一步完善元指标体系是我们今后工作的方向。

参考文献

- 1 V. Paxson, G. Almes, J. Mahdavi, M. Mathis, Framework for IP Performance Metrics, RFC2330, 1998, 5.
- 2 ITU - T, network performance objectives for IP - based network services, Y. 1541, 2006, 2.
- 3 ITU - T, Internet protocol data communication service - IP packet transfer and availability performance parameters, Y. 1540, 2002, 12
- 4 Object Management Group, Inc. Meta Object Facility Specification, 2002, 4.
- 5 张文杰,钱德沛,白越彬,许大炜,栾钟治. 一种性能网络性能评价指标制定框架. 计算机工程与应用, 2003, 40(10):14-15.
- 6 李柯,郭伟,任智. 自组织网络的可靠性评估算法研究. 中国测试技术, 2006, 32(4): 81-83.
- 7 IEEE, Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer specifications, Std 802.11, 1997.