

文章编号:1001-9081(2006)10-2285-04

基于多协议层联合优化的移动性管理技术

汪 静¹, 王 能²

(1. 华东师范大学 电子科学技术系, 上海 200062; 2. 华东师范大学 计算机科学技术系, 上海 200062)
(jwang@ee.ecnu.edu.cn)

摘 要:针对下一代网络的通用移动性,从多协议层联合优化的角度提出一种可以有效融合多业务的通用移动性管理方案。该方案以网络层移动性支持协议(Mobile IP)及其微移动管理协议为基础,并在此基础上融合会话初始协议(SIP),将网络层移动性管理与应用层移动性管理进行联合优化设计,同时考虑链路层的切换,减少功能性和信令数据信息的重复。

关键词:移动性管理;网络层移动性支持协议;会话初始协议;异质网络

中图分类号: TP393.04 **文献标识码:** A

Mobility management based on multi-protocol joint optimization

WANG Jing¹, WANG Neng²

(1. Department of Electronic Science & Technology, East China Normal University, Shanghai, 200062;
2. Department of Computer Science & Technology, East China Normal University, Shanghai, 200062)

Abstract: For the generalized mobility of next generation network, a generalized mobility management scheme was designed which can converge multi-services efficiently through multi-protocol joint optimization. Based on the Mobile IP and its sub Mobile IP, this scheme adopted the Session Initiation Protocol (SIP) and optimized the joint design of network layer mobility management and application layer mobility management. Meanwhile, taking account of the mobility management of link layer the network signalling payload and the repetition of data were decreased.

Key words: mobility management; Mobile IP; Session Initiation Protocol (SIP); heterogeneous networks

0 引言

随着通信、计算机和微电子等技术的飞速发展,作为信息基础设施的通信网络正朝着高性能、异质性的方向演进,以便能更有效更灵活地满足个人通信和信息获取的需求。目前所存在的种类繁多的异质网络也使语音业务和数据业务等日趋融合,而多业务的统一也推动了移动无线互联网、移动多媒体、移动流媒体等的发展,使普适计算(Ubiquitous Computing)日渐成为可能。

从下一代网络的角度来看,业务的提供与网络无关,其所提出的通用移动性是指与接入技术无关的移动性。即不管用户使用什么不同的接入技术,都能向用户提供一致的服务,允许用户跨越现有网络边界使用和管理他们的业务。用户对移动性的要求包括:用户有能力改变接入点或终端;可以应用各种接入技术从任何网络接入点接入到网络;可以得到连续性的服务和网络应用。

然而,就目前来看,异质网络的运营和管理都是独立的,网络对用户仍然区分对待,不同用户使用不同的网络服务体系并且不能互通。用户可以在结构相同的无线接入网中漫游,而在结构不相同的无线接入网中以及固定网中则受到很大限制,移动性还只适用于同质网络环境,无法提供跨网的无缝业务能力。这对于希望以最便捷方式在不同接入技术的网络间移动的用户来说是个严重缺陷。未来网络要想提供自由广阔的服务环境,要实现无处不在的、可随时进行的普适计算,关键在于实现各种接入技术的协调共存,而异质网络间灵

活有效的移动性管理是其关键问题之一。

1 IP 网络移动性支持协议

1.1 网络层移动性管理协议

Mobile IP(MIP)是网络层移动性支持协议,协议提出的目的是要提供终端宏移动功能,包括 MIPv4 和 MIPv6 两个版本。Mobile IP 本质是提供一种 IP 路由机制,使移动节点可以以一个永久的 IP 地址连接到任何链路上,保证 IP 层以上的透明性,使节点在切换链路时仍可保持上层协议正在进行的通信业务,包括活跃的 TCP 连接和 UDP 端口绑定。

Mobile IPv4 工作原理是,移动节点(MN)拥有一个属于家乡网络的固定 IP 地址(即归属地址),当它从家乡网络移动到外地网络时,由外地代理(FA)临时赋予它转交地址(Care of Address, CoA),MN 将该 CoA 注册到位于家乡网络的家乡代理(HA)。注册过程完成后,HA 把获得的转交地址与 MN 的归属地址绑定。当有对端通信节点(CN)向 MN 发送数据时,分组被 HA 截取、封装并使用 MN 注册的 CoA 地址转发到 FA 再交给 MN。MN 发送的分组则不通过 HA 而是直接传送给 CN^[1]。

Mobile IPv6 基本上也是基于 Mobile IPv4 的工作原理,但在 Mobile IPv6 中,移动节点能够利用无状态自动地址配置(将路由器通告的网络前缀同自己的链路层地址合成)产生自己的 CoA,于是就不再需要外地代理。另外,Mobile IPv6 采用路由优化工作方式(移动节点向对端通信节点进行地址注册),克服了 Mobile IPv4 所存在的“三角路由问题”^[3]。

收稿日期:2006-04-17;修订日期:2006-07-05

作者简介:汪静(1972-),男,安徽芜湖人,讲师,博士研究生,主要研究方向:计算机网络、移动通信;王能(1942-),男,上海人,教授,博士生导师,主要研究方向:计算机网络、移动通信。

由于 Mobile IP 在切换过程中进行位置更新(MN 向 HA 和 CN 注册新的 CoA)的时间延迟很大,且易导致数据分组丢失,因此在微移动的环境下,频繁移动所引起大量的位置更新,不仅使网络信令负荷太高,还无法实现快速、无缝切换。为了改善 Mobile IP 不足,近年提出了多种 IP 微移动性管理方案^[2],如 HMIPv6、Cellular IP、HAWAII、TeleMIP、IDMP 等。这些方案通过在一个域中限制位置更新,减小了切换时延、丢包率和向 HA 发送的注册信息量。例如,分层移动 IP (HMIPv6)利用 FA 的分层管理来解决局部频繁切换问题,使得切换在本地完成。其目的是减少 MN 与 CN 和 HA 之间的信令数量,提高切换速度和减少丢包率。HMIPv6 是在 MIPv6 的基础上,引入了新的实体——移动锚点(MAP),MAP 为域内层次化移动代理,通过 MAP 管理本地切换。其主要原理是,移动节点在 HA 登记 MAP 的 CoA,当移动节点在本地移动(即它的 MAP 不变)时,只需要在当前的 MAP 上登记它的新位置,而不需要与 HA 或接入网之外的任何 CN 进行有关操作。通过使用这种方法,信令只发生在较小区域,不会扩散到核心网,因此,完成位置更新的时间较短^[4]。

1.2 应用层移动性管理协议

会话初始协议(Session Initiation Protocol, SIP)是 IETF 开发的一种基于应用层的信令协议,被广泛用作 IP 网络多媒体业务的呼叫控制协议,主要用于创建、修改和结束一个或多个参与者的会话进程。

SIP 协议除了具有呼叫建立、呼叫管理、用户能力协商等功能以外,还具有用户定位功能。其采用了逻辑地址和联系地址相分离的思想。逻辑地址用于标识用户,而联系地址表明用户的当前位置,一个逻辑地址可以对应多个联系地址,这使其可以支持用户移动性。其使用 SIP URI (Uniform Resource Indicator) 作为逻辑地址来标识用户,形如 user@domain 的形式,类似 Internet Email 的格式。在通信前,用户必须首先向一个服务器注册他当前的位置,才能被会话发起方找到,如果用户的位置发生变化,必须将新位置向服务器重新注册,保证了无论用户在网络的任何位置上都可以确保呼叫请求到达用户^[5]。

SIP 包括有两类实体:SIP 用户代理(UA)和 SIP 网络服务器。用户代理是用于和用户打交道的终端系统,根据 UA 在会话中扮演的角色不同又可分为用户代理客户端(User Agent Client, UAC)和用户代理服务端(User Agent Server, UAS),前者发起呼叫请求,后者响应呼叫请求。SIP 网络服务器分为三类:代理服务器、注册服务器、重定向服务器^[5,6]。

代理服务器负责接收用户发出的呼叫请求(INVITE 消息),根据其中的地址信息把请求消息发送到相应的用户代理或转发给下一服务器(使用下一跳路由原理),并回送响应消息。

注册服务器的作用是用来完成对 UAS 的注册。SIP 定义了 REGISTER 消息,用户代理可以通过向注册服务器发送 REGISTER 请求消息来完成注册和注销等操作,通过此机制告之系统自己在移动过程中的当前位置(当用户代理要向注册服务器添加一个地址映射记录时,Contact 域包含了要增加的联系地址信息,通过 Expires 头部域或该地址信息的 Expires 参数来表明该联系地址的生命周期。用户可以通过发送一个 REGISTER 请求消息同时增加多个地址映射记录。用户代理注册成功后,呼叫方可以根据对该用户地址映射信息的查询结果,将呼叫请求消息转发到用户代理的当前联系地址。当用户代理要删除一个地址映射记录时,在 Contact 域中填写要

删除的联系地址信息,并将 Expires 参数置 0,注册服务器收到此请求后就会删除该映射记录)。

SIP 对移动性的支持还包括定义了重定向服务器,重定向服务器在收到请求后,不是转发请求,而是当重定向服务器发现接收到的呼叫中被叫用户位置已经移动,需要重定向时,它会生成一个重定向响应消息,将被叫用户的当前联系地址告之主叫用户,而自己则退出对这个呼叫的控制。主叫用户向新联系地址发起 INVITE 呼叫请求,请求消息会被路由到用户终端所在的联系地址。

如果在会话过程中,移动节点运动并发生子网切换时,要通过 SIP 中定义的 INVITE 请求消息(re-INVITE)来实现目标更新机制(呼叫标志要采用移动前的呼叫标志)。这种机制可以使用户告之对端通信节点自己的联系地址发生了变化,CN 对 re-INVITE 消息作出响应,呼叫重新建立。在目标更新过程完成以后,用户还要及时向自己的注册服务器注册新地址,以使网络获知其当前位置。

另外,在实际的 SIP 系统中,还有一个很重要的服务器,即位置服务器,位置服务器存储并向用户返回可能的位置信息(包括代理服务器或重定向服务器的位置),注册服务器接收到位置信息时会立即将这些信息上载到位置服务器。位置服务器作为一个全局的数据库,作用就像 DNS。位置服务器不属于 SIP 服务器的范畴,因为位置服务器和 SIP 服务器之间并不使用 SIP 协议,一些位置服务器使用 LDAP 和 SIP 服务器进行通信。

最后要说明的是 SIP 服务器的结构问题。若是所有移动用户的信息都设置在一个或几个服务器中,这必将会产生负荷瓶颈。因此,类似于 DNS, SIP 采用分区域的注册机制,即将不同移动用户划分为不同的归属区,采用层次化的分区域结构(每一个叶节点作为一组用户的归属位置寄存器(HLR))去分布式处理位置查询和注册/更新等业务,从而达到快速切换的目的。

2 多协议层联合优化移动性管理方案

通信的移动性往往涉及终端移动性、用户移动性和业务移动性等几方面。终端移动性,是指一部终端可以在不同地点和在移动中接入通信业务,以及网络可以识别和定位这部终端;用户移动性,是指不管用户在何处使用哪一种终端,都能在个人识别号下接入通信业务,以及网络能根据用户业务属性描述提供相应服务;业务移动性,是指用户使用某一特定业务的能力而不管用户和终端的位置,包括因网络或终端能力改变业务内容方式。

虽然 Mobile IPv6 利用“目标选项扩展报头”和“路由扩展报头”可屏蔽 IP 地址的改变,保持上层协议通信连续性,但其基于 HA 的定位方式只能解决终端移动性。而 SIP 虽然可以解决终端移动性、用户移动性和业务移动性,但其不屏蔽 IP 地址的改变,会使上层协议正在进行的通信业务中断,例如,已建立的 TCP 连接会中断,需要重新在新的 IP 地址上建立 TCP 连接。而链路层和传输层在解决移动性方面也存在着很大局限性^[7]。由此可见,仅从某单一协议层去进行移动性管理,无法适应下一代网络的通用移动性。

因此,本文的研究思路是,以 Mobile IP 及其微移动管理协议为基础,来保证终端移动性,并在此基础上融合 SIP 信令对用户移动性的支持的特点,将网络层移动性管理与应用层移动性管理进行联合优化设计,同时考虑链路层的切换,减少功能性和数据信息的重复,降低网络信令负荷,优化移动性管

理过程。

2.1 同质网络中的移动

对于在同质网络中移动的单模终端而言,其移动类型可分为三类:1)子网内移动。即在同一子网内不同小区间的移动,其 IP 地址不改变,只是改变链路。例如,属于同一接入路由的不同基站或 AP 间的移动。2)子网间移动。即在同一管理域内不同子网间的移动,其 IP 地址和链路都要改变。3)域间移动。即在不同管理域间的移动,这不仅涉及 IP 地址和链路的改变,还涉及用户的再次鉴权,如进行 AAA。

2.1.1 简单移动性管理

根据移动用户的通信状态,本方案将移动性管理分为两个阶段来考虑(如图 1 所示):

1) 呼叫前移动性。在未通信时,也就是移动节点处于空闲状态时,不需要区分家乡网络和外地网络,即不设置家乡代理和外地代理。移动用户的位置管理采用 SIP 协议,通过 SIP 的位置注册和重定向功能(图中①和②)来定位移动用户当前所驻扎的网络,即移动节点当前 IP 地址(利用自动地址配置所产生的 CoA)。因此,CN 可以直接向 MN 发起呼叫请求并建立会话(图中③),无须通过 HA 与 MN 通信。

2) 呼叫中移动性。当通信过程中移动节点发生越区移动时,MN 采用 MIPv6 机制,但 MN 仍不需要设置家乡代理(即没有家乡地址的概念),而是以建立会话时所使用的 IP 地址作为会话地址(Session Address, SA),以当前网络所配置的 IP 地址作为源地址,并利用 MIPv6 绑定更新消息向 CN 通知新的 CoA。即 MN 发出的 IP 报文中源地址是新的 CoA,“目标选项扩展报头”设置为 SA(图中④)。而 CN 所发出的 IP 报文中目的地地址是 MN 新的 CoA,“路由扩展报头”设置为 SA,这就使正在进行的通信不会发生中断(图中⑤)。同时,MN 利用 SIP 消息向 SIP 注册服务器进行位置更新(图中⑥)。

① MN 利用 SIP 消息(REGISTER)向 SIP 注册服务器进行位置注册;

② CN 利用 SIP 重定向服务器获取 MN 当前 IP 地址——CoA(作为会话地址);

③ CN 直接向 MN 发起呼叫请求并建立会话;

④ MN 利用 MIPv6 绑定更新消息向 CN 通知新的 CoA;

⑤ CN 与 MN 继续进行会话;

⑥ MN 利用 SIP 消息向 SIP 注册服务器进行位置更新。

若在移动过程中,某一次会话还未结束又产生新的会话(即有新的 CN 向 MN 发起呼叫请求),这时,对于新的会话而言,没有必要以原来的 CoA 作为 SA 来收发数据,而是直接以新的 CoA 作为 SA 来收发数据。也就是说,移动节点发生越区移动时,新的会话选择新的会话地址,称作“一次会话一个 SA 地址”方式,这可以简化通信双方的数据报文处理。

2.1.2 改进型移动性管理

移动用户数量的快速增长导致无线网络覆盖小区趋向小型化(微蜂窝/小区、微微蜂窝/小区),这将引起 MN 频繁越区移动。因此,MN 需要频繁发送绑定更新给所有 CN,并利用 SIP 消息实时向 SIP 注册服务器进行位置更新。为了实现快速、无缝切换,需要将管理用户移动性的网络节点以树状的分层结构进行连接,使分层结构的根管理宏移动性,而枝叶部分管理微移动性。因此,本方案采用 HMIPv6 的思想,利用移

动锚点(MAP)作为域内层次化移动代理,通过 MAP 管理本地切换。移动节点在 SIP 服务器中注册 MAP 的 RCoA(Regional CoA),并以此作为会话地址 SA。当移动节点在本地子网间移动(即它的 MAP 不变)时,只需要在当前的 MAP 上登记它的 LCoA(On-link CoA),即建立 RCoA 与 LCoA 的绑定,称为本地绑定更新,而不需要与 SIP 服务器和任何 CN 进行有关操作。通过使用这种方法,信令只发生在较小区域,不会扩散到核心网,使完成位置更新的时间缩短。

2.1.3 增强型移动性管理

对于上述方案还可以结合链路层移动性管理进一步改进。快速、无缝切换需要一种机制来确保当 MN 移动时能够迅速建立一个新的路径,并将旧的路径迅速删除,以使由于 MN 移动所导致的分组丢失和传输延迟降到最小。对于微小小区或微微小区间的移动,可以只在链路层进行移动性管理。即将若干地理位置相邻小区设置为一个接入网(Access Network, AN)(同一 IP 子网),MN 在其之间移动时,只是改变链路,IP 地址不改变(如图 2 所示)。通过在小区的接入路由器(Access Router, AR)中设置 IP 地址与链路的动态映射表(类似于 ARP 表,形如 inet_addr link_addr lifetime 的格式),使 AR 能够定位 MN 当前所在的小区。这样,对于 MN 在同一接入路由器下的小区移动,只需要改变 AR 中的 IP 地址与链路的映射表。这种基于链路层的移动性管理不需要进行任何位置更新,从而能够实现快速、无缝切换。而且,这也为异质网络间的移动性管理提供了有效的解决方法(详见下文所述)。

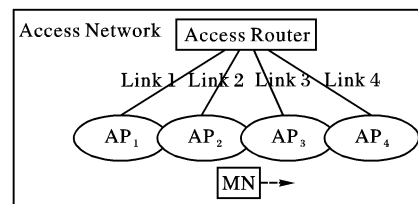


图 2 链路层移动性管理

2.2 异质网络中的移动

目前,存在多种不同类型的接入网络(包括有线接入和无线接入),它们各有自己的优点(速率/带宽、有效覆盖范围、QoS、计费费率、安全等)和相适宜的应用场合,称其为异质网络。异质网络的覆盖区域往往会互相重叠,从而使下一代网络的拓扑结构逐步演进到多层次、重叠式的立体网络结构,这也就推动了多模移动终端的发展。用户不仅希望多模移动终端能够自由选择接入到某一网络或同时接入到若干网络,还希望在移动过程中,能够保持服务的连续性和相应 QoS 保证。

2.2.1 同一管理域的异质网络间移动性管理

对于在隶属同一管理域的异质网络重叠覆盖的区域,可以采用图 2 所示的方式进行移动性管理,即将不同的小区接到同一接入路由器 AR 上。例如在图 2 中,AP1 支持 802.11, AP2 支持 802.16, AP3 支持 802.20,当一个支持这三种协议的多模 MN 要在此小区间切换(其 IP 地址不改变)时,其仍采用上文所述的链路层移动性管理方案。对于 CN 和 SIP 服务器等而言,其无需了解 MN 接入网络的细节。当然为了考虑会话服务类型、QoS、网络计费、安全、管理策略等因素,通信双方可在应用层进行会话协商,以便 MN 自主选择接入网络。

2.2.2 不同管理域的异质网络间移动性管理

对于在隶属不同管理域的异质网络重叠覆盖的区域,由于不同小区的接入路由和 MAP 等都不相同,且各网络采用独

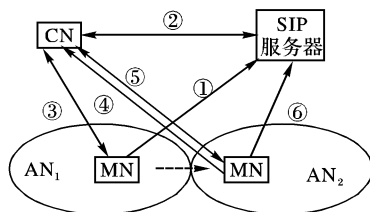


图 1 简单移动性管理

立的 AAA,因此,这类异质网络间的移动性管理要跨域进行。例如,某区域 AP1 支持 802.11,由 ISP1 运营管理,而同区域 AP2 支持 GPRS,由 ISP2 运营管理,当某一 MN 要从 AP1 切换到 AP2 时,其不仅要将在 AP1 所设置的 CoA1 更新为 AP2 所设置的 CoA2,还要接受 ISP2 对其重新进行鉴权。很显然,若 MN 在 AP1 和 AP2 间频繁切换时,其需要频繁进行位置更新和鉴权,这不仅使网络信令负荷过高,还造成其不能实现快速、无缝切换。对此问题可采用如下方案来解决:

多模 MN 可在同一时刻激活多个网络连接(多穴方式),其利用 SIP 消息(REGISTER)向 SIP 注册服务器进行多 IP 地址注册,SIP 服务器的数据库支持一个逻辑地址(SIP URI)同时对应多个联系地址(CoA)。为了能够更精确地记录 MN 的网络接入状态信息,可对数据库记录增加接入网络属性(Attribution)字段。Attribution 字段包括接入网络所支持的 QoS、计费、安全等信息。对于多模 MN 发起的通信,其可以自主判断并选择相应的接入网络。而对于 CN 发起的通信,则通过定时查询获知 MN 当前的网络接入状态信息,从而决定是否发起和如何发起一次新的业务通信,并根据业务类型选择最适合的接入网络 IP 地址。

对于前面所述问题,MN 同时与 AP1 和 AP2 建立连接,即同时设置 CoA1 和 CoA2 两个地址。若 MN 在 AP1 中与 CN1 建立了会话,则 MN 采用 CoA1 作为与 CN1 通信的会话地址 SA,当 MN 移出到 AP1(还处在 AP2 中)时,其利用 MIPv6 绑定更新消息向 CN1 通知新的 CoA 为 CoA2。即 MN 发出的 IP 报文中源地址是 CoA2,“目标选项扩展报头”设置为 CoA1。而 CN1 所回送的 IP 报文中目的地址是 CoA2,“路由扩展报头”设置为 CoA1,这就使正在进行的通信不会发生中断。也就是说,处于多穴方式的 MN 可以通过多地址的交叉绑定更

新使正进行的会话在异质网络间无缝切换。

3 结语

关于下一代网络所提出的通用移动性管理是一个全新的课题,是实现网络有效融合的关键技术,也是实现普适计算的核心技术之一,具有广泛的应用前景。本文从多协议层联合优化的角度所提出的通用移动性管理方案具有灵活性、可扩展性和普适性,可以应用于现有的各类异质网络。

参考文献:

- [1] PERKINS C. IP Mobility Support for IPv4, revised (IETF Internet-Draft: draft-ietf-mip4-rfc3344bis-02. txt) [EB/OL]. <http://www.ietf.org/ID. html>, 2005 - 10.
- [2] ELMALKI K. Low Latency Handoffs in Mobile IPv4 (IETF Internet-Draft: draft-ietf-mobileip-lowlatency-handoffs-v4-11. txt) [EB/OL]. <http://www.ietf.org/ID. html>, 2005 - 10.
- [3] JOHNSON D, PERKINS C, ARKKO J. Mobility Support in IPv6 (IETF RFC 3775) [EB/OL]. <http://www.ietf.org/rfc. html>, June 2004.
- [4] SOLIMAN H, CASTELLUCCIA C, ELMALKI K, et al. Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6) (IETF RFC 4140) [EB/OL]. <http://www.ietf.org/rfc. html>, August 2005.
- [5] ROSENBERG J, SCHULZRINNE H, CAMARILLO G, et al. SIP: Session Initiation Protocol (IETF RFC 3261) [EB/OL]. <http://www.ietf.org/rfc. html>, May 2002.
- [6] ROSENBERG J. A Framework for Application Interaction in the Session Initiation Protocol (SIP) (IETF Internet-Draft: draft-ietf-sipping-app-interaction-framework-05. txt) [EB/OL]. <http://www.ietf.org/ID. html>, July 2005.
- [7] GUPTA V. Media Independent Handover Service Draft Technical Requirements (IEEE P802. 21 Draft) [EB/OL]. <http://www.ieee802.org/21/>, September 2004.

(上接第 2271 页)

4 EPA 协议抽象测试集的实现

EPA 一致性测试抽象测试集包括 6 个测试组,其中系统管理测试组和应用访问实体测试组属于服务测试。对非证实服务来说,测试时是由 EPA 测试器发送控制命令给 UTA,由 UTA 调用相应的接口发送服务给 EPA 测试器,EPA 测试器收到报文后对照标准比较判断是否符合标准定义的要求;对于证实服务来说,则需要从 3 个方面进行测试,即测试 IUT 发送请求报文的能力、测试 IUT 返回正响应的能力和测试 IUT 返回负响应的能力,从这 3 个方面考虑分别设计各自的测试例,测试 IUT 返回负响应的能力时必须考虑到所有能够触发负响应的错误陷阱,设计出所有的测试例。本文以服务测试为例说明 EPA 协议抽象测试集的实现过程。进行服务测试时,从请求服务、正响应服务、负响应服务 3 个方面进行测试。服务测试例的实现过程如图 4 所示。

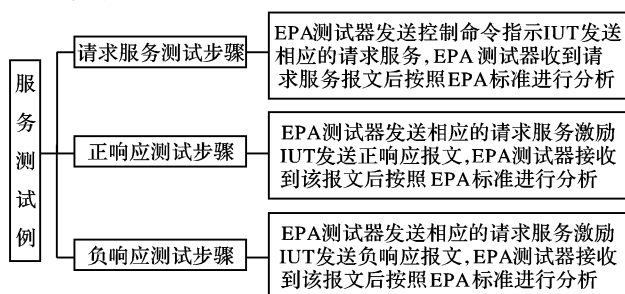


图4 服务测试例

5 EPA 协议抽象测试集的应用过程

在 EPA 协议抽象测试集中根据 EPA 协议的特点和要求设计非常全面的测试例,测试时,根据被测协议实现方提供的 EPA 协议实现一致性说明/协议实施附加信息说明 (EPICS/EPIXIT) 文件结合 EPA 协议抽象测试集生成可执行测试集,执行可执行测试集便可以进行 EPA 协议一致性测试。抽象测试集的应用过程如图 5 所示。

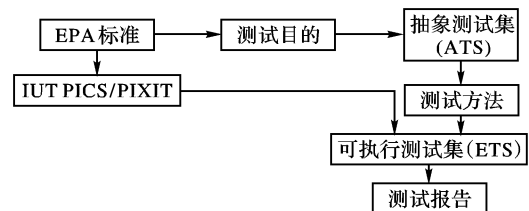


图5 抽象测试集的应用过程

参考文献:

- [1] ISO/IEC 9646-1 to 7, Information technology-Open systems interconnection-Conformance testing methodology and framework-Part 1. to Part 7 [S].
- [2] GB/T 20171-2006. 用于工业测量与控制系统的 EPA 系统结构与通信规范 [S]. 2006.
- [3] IEC/PAS 62409: Real time Ethernet EPA (Ethernet for Plant Automation) [S]. 2005.
- [4] 赵会群,等. 通信软件测试技术基础 [M]. 北京:人民邮电出版社,2004.