

文章编号 1004-924X(2010)11-2482-07

应用决策集选播模式的 SIP 测控网络负载均衡策略

周钦河^{1,2}, 刘桂雄¹, 洪晓斌¹

(1. 华南理工大学 机械与汽车工程学院, 广东 广州 510640;

2. 广东水利电力职业技术学院, 广东 广州 510635)

摘要:针对目前单优化目标选播模式容易导致负载发生新的不均衡问题,建立了 SIP 测控网络平台并分析其选播机理。采用网络层选播和应用层选播综合的方式,提出了最优决策集选播的负载均衡策略。选播目标为一个集合,包含多个满足要求的服务器,以避免蜂拥抢占服务器资源的情况发生;建立 SIP 测控网络最优决策集选播数学模型,采用证据理论决策选播目标权重,从而产生最优决策集。在 OPNET 仿真环境下,搭建 SIP 测控网络平台进行实验,结果表明最优决策集选播模式比单优化目标选播模式的服务器占用资源不均衡率降低了 31%,能够很好地将负载均衡到各个服务器中,并减少了单个服务器处理多进程需要的额外资源开销。

关键词:测控网络;选播;负载均衡;最优决策集;证据理论;IPv6;SIP

中图分类号:TP393.03 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20101811.2482

Load-balancing strategy in SIP measuring & controlling network based on anycast mode of decision set

ZHOU Qin-he^{1,2}, LIU Gui-xiong¹, HONG Xiao-bin¹

(1. *School of Mechanical & Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China*; 2. *Guangdong Technical College of Water Resources and Electric Engineering, Guangzhou 510635, China*)

Abstract: To solve the problem that a single optimal target anycast mode tends to cause new load imbalance, a Measuring & Controlling Network Platform(MCNP) based on the Session Initiation Protocol(SIP) was established and its anycast mechanism was analyzed. By integrating network-layer anycast and application-layer anycast, an load-balancing method based on an optimal decision set was introduced. The anycast objective is a set, which includes many servers to avoid server resources to be seized confusedly. To obtain an optimal decision set, a mathematical model of optimal decision set anycast was established, and the evidence theory was used to anycast the weight. An experimental platform was built to simulate and verify this new method in OPNET simulation environment. The results show that the imbalance rate of server resource occupancy by using the optimal decision set

收稿日期:2009-12-16;修订日期:2010-03-20.

基金项目:教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目(No. NCET-08-0211);广东省自然科学基金资助项目(No. 9151007010000001);广东省科技计划资助项目(No. 2009B010900045);华南理工大学科研基金资助项目(No. 2009ZM0042)

anycast mode has reduced by 31% as compared with that by using a single optimal target anycast mode, which brings an equal distribution of load to different servers and reduces the extra resources for tackling multi-processing in a single individual server.

Key words: measuring and controlling network; anycast; loading balancing; optimal decision set; evidence theory; IPv6; Session Initiation Protocol(SIP)

1 引言

随着无线测控设备应用越来越多,设备移动性对测控网络结构的灵活性、多样性提出了更高要求,IPv6 和会话初始协议(Session Initiation Protocol, SIP)网络凭借良好的接入、灵活的自动配置功能等优点得到越来越广泛应用。在测控系统采用单播与组播通信模式下,当局部有较多无线移动节点接入网络时,容易呈现负载不均衡问题。选播(anycast)作为 IPv6 的一个新特性,可以在一定程度上克服这种不均衡现象,已成为国内外研究热点^[1]。选播的研究目前侧重于两个方面:(1)网络层选播技术,依靠网络自身的拓扑结构来选择“最近”的服务器^[2],目前的研究主要集中在对选播路由表构造及路由算法的改进,以提高网络搜索速度,增加获得最优路径概率^[3-4];(2)应用层选播技术,可灵活选择时延、网络带宽、服务器负载等作为“最优”的服务器标准^[5]。目前的研究主要集中在标准的合理选择、查询频率的确定,查询与应答消息的精简等^[6-7]。然而,无论是对网络层还是应用层选播模式,均以选择单一的“最近”服务器或“最优”服务器作为目标。当负载均衡器发现“最近”服务器或“最优”服务器时,负载均衡器可能会引导多个客户端与其建立连接,造成该服务器的负担过重,不能及时地响应所有客户请求,导致其性能的下降,而此时其他的服务器却因没有客户请求的到来而仍然处于空闲状态。当负载均衡器又一次刷新所有服务器的性能

参数时,容易出现服务负载振荡新问题。本文针对 SIP 测控网络中存在多个代理服务器和注册服务器的特点,分析其选播机理,研究最优决策集选播新方法,期望达到避免服务负载振荡,更好实现网络负载连续均衡的目标。

2 SIP 测控网络平台及最优集选播模型

2.1 SIP 测控网络平台

在前期研究的基础上^[8-9],首先搭建新型 SIP 测控网络平台,该测控平台分为三层,如图 1 所示。第一层为现场测控层,具体包括现场传感器和受控设备模块、智能测控装置和 SIP 重定向/代理服务器,负责对底层现场的数据采集及处理。每个现场测控装置均嵌入 SIP 协议栈,且被赋予一个 IPv6 地址,当装置上电后,可经过简单设置后快速接入网络;监控终端的权限与其所在的物理位置无关,只与监控用户的使用权限有关。第二层为企业监控层,具体包括企业级监控终端、多种企业级服务器和 SIP 重定向/代理/注册服务器等。现场测控层和企业监控层由路由器连接,可以划分物理边界,为网络安全、故障排除创造了条件。第三层为远程测控层,主要包括远程监控终端、专家诊断系统和 SIP 重定向/代理服务器等;测控网络中包含多个代理服务器和注册服务器,多个 SIP 代理服务器共享一个选播 IP 地址,多个注册服务器共享一个选播域名。

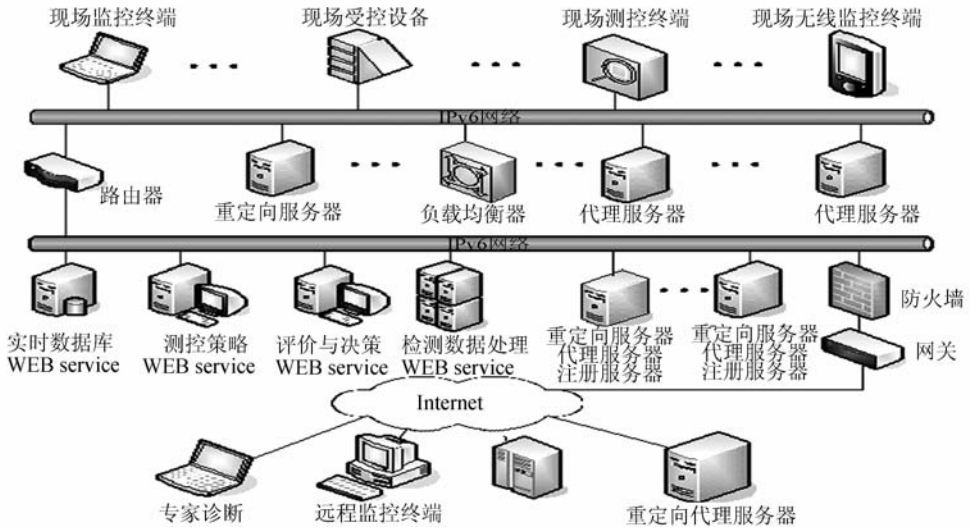


图 1 SIP 测控网络总体结构

Fig. 1 Overall structure of intelligent M&C platform

2.2 SIP 网络选播机理分析

在 SIP 测控网络中,同时使用网络层选播和应用层选播两种综合模式,可以充分发挥两种模式的优点。使用网络层选播来配置 SIP 代理服务器,使用应用层选播来配置注册服务器。当一个用户开始通信会话时,它将会发送 SIP 消息到注册服务器进行注册,注册请求首先发送到根据选播地址“最近”的 SIP 代理服务器,SIP 代理服务器再由网络中的负载均衡器得到“最优”的注册服务器的 IP 地址,并向该注册服务器转发注册消息。

图 2 为 SIP 测控网络选播机理示意图。图中 3 个 SIP 代理服务器共享一个选播 IP 地址,用户

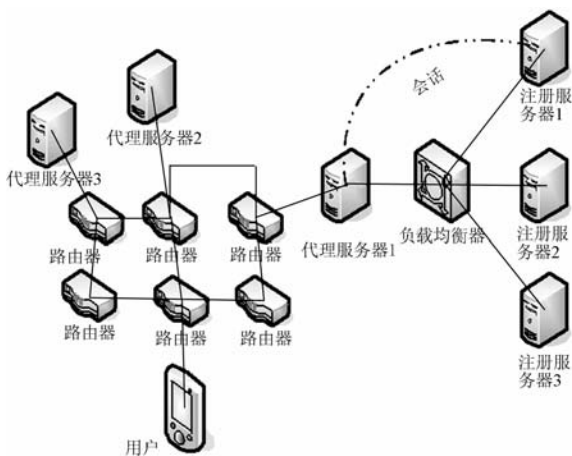


图 2 SIP 测控网络选播机理示意图

Fig. 2 Anycast mechanism for SIP network

通过路由首先发送到“最近”的代理服务器 1,代理服务器 1 再由网络中的负载均衡器得到“最优”的注册服务器 1 的 IP 地址,并向注册服务器 1 转发注册消息,发起会话由代理服务器 1 直接与注册服务器 1 通信。

2.3 SIP 测控网络最优集选播模型建立

针对单一优化目标选播方式容易造成服务负载振荡的问题,为实现负载均衡,下面采用最优决策集策略。与单优化目标的本质区别在于,最优决策集的解不是唯一的,而是存在一个最优解集合,集合中包含多个满足要求的服务器。通过判断选播组中的服务器是否满足给定条件来确定最优决策集范围,并在每次更新信息到负载均衡器时,都会刷新所有服务器的性能值,并重新确定范围。

基于 SIP 测控网络建立最优集选播模型,需要将测控网络的情况与现场环境相结合来对最优化目标进行分析,最终得到一个综合权重。在进行权重的衡量时,对于本测控平台,由于选用相同性能服务器,简化了对于服务器本身一些评价,从而从整体网络出发,需要考虑到如下因素:源节点到目标节点之间的距离 L ;链路时延 D ;服务器载流量 R 。

根据测控网络的特性,可以将其定义在一个有向加权图选播模式下,图 2 可以转换成图 3 所示的有向加权图 $G=(V,E)$, V 为寻找最佳路径的时候经过的路由器, E 为网络有限链路集; S 和

U 分别表示服务器、用户。并假设(1) V, S 和 E 的数量分别为 m, n 和 h ; (2) 用户资源占用矩阵 $UR=[ur_i]_m, ur_i$ 表示用户 i 占用的服务器资源; (3) 服务器资源矩阵 $SR=[sr_j]_n, sr_j$ 表示服务器 j 能提供的最大资源资源; (4) 链路长度矩阵 $ED=[ed_k]_h, ed_k$ 表示链路 k 的长度; (5) 链路时延矩阵 $DT=[dt_k]_h, dt_k$ 表示链路 k 的时延; (6) 路径分布矩阵 $P=[p_{i,j,k}]_{m \times n \times h}, p_{i,j,k}$ 表示用户 i 到服务器 j 的路径是否包含链路 k , 如果包含 $p_{i,j,k}=1$, 否则, $p_{i,j,k}=0$; (7) 决策变量 $x=[x_i]_m, x_i$ 表示用户 i 选择的服务器。各影响因素的选播路径优化数学表示如下:

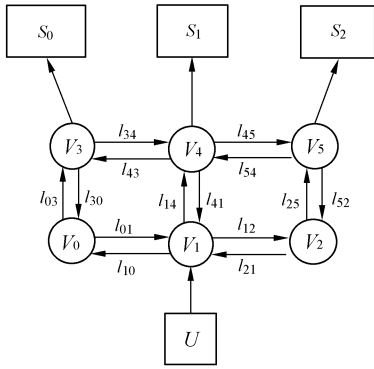


图 3 选播模式有向加权图

Fig. 3 Directed weighted figure of anycast mode

(1) 源节点到目标节点路径总和最短目标:

$$f_1(x) = \min \left[\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{k=0}^{h-1} u_1(\mathbf{ED}, \mathbf{P}, x_i, k) \right], \quad (1)$$

$$其中, u_1(\mathbf{ED}, \mathbf{P}, x_i, k) = \begin{cases} ed_i & P_{i,x_i,k} = 1 \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

(2) 链路时延总和最小目标:

$$f_2(x) = \min \left[\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{k=0}^{h-1} u_2(\mathbf{DT}, \mathbf{P}, x_i, k) \right], \quad (2)$$

$$其中, u_2(\mathbf{DT}, \mathbf{P}, x_i, k) = \begin{cases} dt_i & P_{i,x_i,k} = 1 \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

(3) 服务器载荷量总量最大目标:

$$f_3(x) = \max \left[\sum_{j=0}^{n-1} \sum_{i=0}^{m-1} u_3(\mathbf{UR}, x_i, j) \right], \quad (3)$$

$$其中, u_3(\mathbf{UR}, x_i, j) = \begin{cases} ur_i & x_i = j \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

由于实现不同的功能对优化目标的要求有所不同, 可以通过线性加权法来实现, 各权系数的大小反映每个优化目标作用的大小, 能在多个优化目标之间协调优化。令 $f_1(x), f_2(x)$ 和 $f_3(x)$ 的

权系数分别为 v_1, v_2 和 v_3 , 多目标优化选播数学模型为

$$T = \min \{v_1 f_1(x), v_2 f_2(x), v_3 f_3(x)\}. \quad (4)$$

其中, $v_1 + v_2 + v_3 = 1$ 。

本系统采用粒子群优化算法求解最优决策集, 其算法流程如下:

- Step1 初始化种群, 代数 $t=0$, 粒子数为 pop-size; 在决策变量的可行域内, 随机产生粒子位置 x ; 各个粒子的初始速度为 $0 \sim 1$ 的随机数。计算各个粒子的目标值, 并将个体极值 P_i 设为 x_i 本身;
- Step2 利用快速排序法, 根据目标函数值对粒子进行支配关系排序, 将非支配解存入外部集 EXS 中;
- Step3 $t=t+1$, 迭代计算开始循环;
- Step4 利用循环更新粒子速度和位置;
- Step5 计算各个粒子的目标值;
- Step6 更新个体极值;
- Step7 更新外部集, 外部集中保存的都是最好的结果, 算法最后输出的就是外部集中的解;
- Step8 判断是否满足终止准则, 如不满足, 则返回到 Step3。

然后, 给最优决策集每个成员设定一个阈值 T_s 。若 $T < T_s$, 则加入最优决策集; 若 $T > T_s$, 则退出最优决策集。这样, 最优决策集可以为客户端提供多个服务器选择。当客户端有选播请求时, 从中随机地选出一个服务器, 与之建立通信。从而较好地避免了蜂拥抢占服务器资源的情况发生, 实现负载均衡。

要得到 T 值, 首先必须求得各目标权重 v_1, v_2, v_3 , 而这些信息并不是完整和精确的, 存在某种程度的不确定性和模糊性, 甚至不同因素之间相互制约相互矛盾。因此必须依据这些信息通过加权方法来处理不确定数据, 推理、融合出合适的值。证据理论结合了概率论数理统计相关优点, 又能够处理模糊概念证据, 可以很好地解决选播数学模型中的权重问题^[10]。

3 基于证据理论的最优集选播路径权重决策

在 SIP 测控平台中, 某些决策由统计数

据得到。而在证据理论中,则将统计问题转化成统计证据,是对统计问题的一种新处理。由于统计观察结果 x 的出现决定一个满足 $p_l(\{\theta\}) = Cq_\theta(x)$ 似真函数(其中 C 是与 θ 无关的常数),且使得更有利于 Θ 把较大几率分配给 x 那些元素,那么由证据 x 决定的似真度函数的外部函数 $f:\Theta \rightarrow [0, 1]$ 为 $f(\theta) = Cq_\theta(x)$ 。由于当 $p_{l_x}(\Theta) = C \max_{\theta \in \Theta} q_\theta(x) = 1$, 可以推出 $C = \frac{1}{\max_{\theta \in \Theta} q_\theta(x)}$ 。对于 $\forall A \subset \Theta$ 存在^[11]:

$$p_{l_x}(A) = \begin{cases} \frac{\max_{\theta \in A} q_\theta(x)}{\max_{\theta \in \Theta} q_\theta(x)} & A \neq \Phi \\ 0 & A = \Phi \end{cases}$$

当观察值是多个的情况,如 x_0, x_1, \dots, x_n , 可根据每个 x_i 求得一个 $p_{l_{x_i}}$, 然后按照 Dempster 合成法则,求取它们之和来获得多个观察值信度函数。

当一个支持函数不能反映整个证据的某些特殊的不确定性时,将给予一定的折扣,若 $\alpha (0 \leq \alpha \leq 1)$ 为折扣率,那么整个证据有 $1 - \alpha$ 的似真度。

即对于 Bel^α 满足: $Bel^\alpha(\Theta) = 1$, 那么, $\forall A \subset \Theta, A \neq \Phi$, 则

$$Bel(A) = (1 - \alpha) Bel(A) \quad (4)$$

在 x 出现依赖于一种经验的时候,能够很好地表示统计证据地不确定性。对一个判决问题,将所有可能结果用集合表示,证据在识别框架上获得基本可信度分配,利用多批证据作为判决基础,求出合成来表示其对应证据的联合作用,并进一步求出一个信度函数,即判决结果。利用“最小点”原则缩小给定的集合,最终向真值逼近^[12]。该原则是:设对于集合 A , 去掉若干个元素后的集合为 B , 信度为 $Bel(B)$ 。如果 $Bel(A)$ 与 $Bel(B)$ 相差不大,那么说明去掉这几个元素后对信度影响不大,可以去掉这几个元素。缩小的过程必须从识别框架开始,并且逐步经过许多步递推才能完成。

综上所述,将各目标 L, D, P 的权重 v_1, v_2, v_3 确定看成是一个识别框架 Θ , 那么基于证据理论的 SIP 测控平台路径权重确定的过程如图 4 所示。

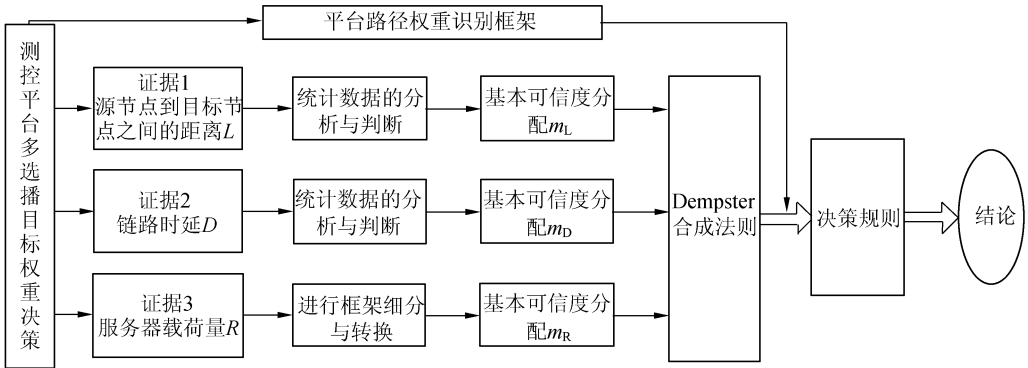


图 4 基于证据理论的测控平台路径权重决策

Fig. 4 Measuring & controlling platform path weights decision based on evidence theory

在平台中每个影响因素的性质均不同,因此需具体分析框架中证据构成及决策方式。经过推理得到各个相关的可信度后,利用 Dempster 合成法则计算联合的信度和函数以及似真度函数,并利用“最小点”原则对所得到的信度函数进行函数的优化和递推,不断缩小框架,优化框架的值。同时结合相关的决策规则,对得到相同权值或接近值进行影响因素的不同关键点权衡,最终推出各服务器的综合权重,然后求出各服务器的 T 值并与阈值 T 比较,最后可得出最优决策集。

4 实验

SIP 测控网络平台的负载性能需要通过相应的指标进行衡量,本文选用服务器资源的占用率均值作为评定指标。首先在 OPNET 环境下,搭建模拟 SIP 测控网络平台^[13],如图 5 所示。接着进行单优化目标选播模式和最优决策集选播中各服务器的资源占用率对比实验。仿真过程调用函

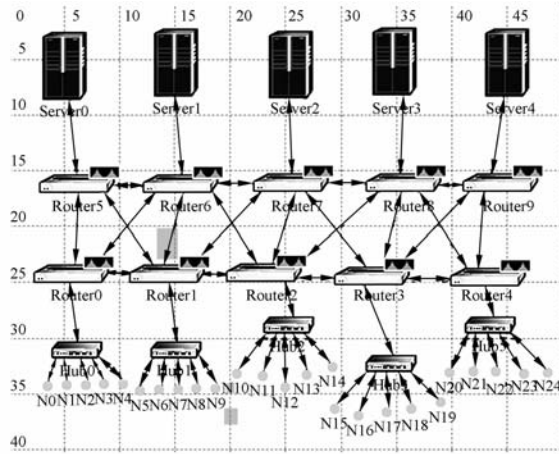


表 1 服务器资源占用率

Tab.1 Resource shares of servers

服务器	资源占用率(%)	
	单优化目标选播模式	最优决策集选播模式
Server0	58.07	58.22
Server1	92.36	63.33
Server2	62.58	55.91
Server3	55.40	54.48
Server4	38.77	53.62
平均值	61.436	57.112
不均衡率	47%	16%

备注:不均衡率=(最大值-最小值)/平均值

图 5 SIP 测控平台在 OPNET 中的网络模型

Fig.5 Network module of SIP M&C platform in OPNET

数 `op_sim_time()` 获取仿真时间段,在相应时间段内对事件进行处理。当新事件产生时,运用中断处理,引入链路中新事件执行。数据包分别按照选定路径、最优集路径两种方式进行转发,在对决策算法形成的选播路径验证时,在链路编辑器中更改属性接口,使用优化后的路径,从而实现单优化目标选播模式和最优决策集选播模式,结果如表 1 所示。

从表 1 中可以看出,与单优化目标选播模式相比较,最优决策集选播模式对服务器占用资源不均衡率降低了 31%,将负载均衡到各个服务器中,减少单个服务器处理多进程需要的额外开销。

参考文献:

[1] WEBER S, CHEN L. A Survey of anycast in IPv6 Networks[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2004,42(1):127-132.

[2] KANG Y H, JUNG B G. IPv6 anycast routing aware of a service flow[J]. *Consumer Electronics*, 2007,24(6):1-4.

[3] HADI F, SHAH N, SYED A H. Adaptive anycast: a new anycast protocol for performance improvement in delay tolerant networks[J]. *IEEE International Conference on Integration Technology*, 2007,18(4):185-189.

[4] 徐海,徐涛.一种改进的网络选播路由算法[J]. *计算机工程*, 2008,34(1):114-116.

XU H, XU T. An improved anycast routing algo-

5 结 论

本文将 IPv6 选播运行模式引入网络化测控平台,分析 SIP 测控网络选播机理,结合网络层选播和应用层选播的综合方式,提出了采用最优决策集来克服单优化目标选播缺陷的方法,并建立了最优决策集选播数学模型。由于目标信息存在某种程度的不确定性和模糊性,将 D-S 证据理论算法应用在选播路径权重融合与决策中。该方法有效地避免负载振荡,大大提高了 SIP 测控网络实时性和服务器的资源利用率;在获取测控现场各方面状况基础上,结合 OPNET 进行实验验证,结果表明与单优化目标选播模式相比较,最优决策集选播模式对服务器资源占用率降低了 31%,为 SIP 测控网络预测和决策提供了有效方法。

rithm[J]. *Computer Engineering*, 2008,34(1):114-116. (in Chinese)

[5] HOU Y T, YI S, SHERALI H. Optimal base station selection for anycast routing in wireless sensor networks [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2006,55(3):813- 821.

[6] 王晓楠,钱焕延. IPv6 中通过应用层实现 Anycast 服务的通信模型[J]. *计算机工程*, 2007,33(8):109-111.

WANG X N, QIAN H Y. Communication model of anycast service on application layer in IPv6 [J]. *Computer Engineering*, 2007,33(8):109-111. (in Chinese)

[7] KIM J, LIN X J, SHROFF N B. Optimal anycast technique for delay-sensitive energy-constrained a-

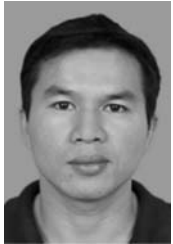
synchronous sensor networks[J]. *IEEE on Computer Communications*, 2009, 32(8):612-620.

- [8] LIU G X, HONG X B, XU J. Study on IP mode-human-machine cooperated measurement controlling system of modern greenhouse[C]. *Proceedings of the first International Symposium on Test Automation & Instrumentation*, 2006:1246-1251.
- [9] 靳斌, 洪晓斌, 刘桂雄. 基于 SIP 的制造过程检测平台总体规划[J]. *制造业自动化*, 2008, 30(6):89-91.
- JIN B, HONG X B, LIU G X. General plan of measurement platform based on SIP for manufacturing process[J]. *Manufacturing Automation*, 2008, 30(6):89-91. (in Chinese)
- [10] 孙华燕, 李迎春, 李生良. 基于证据理论的立体匹配决策[J]. *光学精密工程*, 2000, 8(2):2-9.
- SUN H Y, LI Y CH, LI SH L. Matching decision on stereo based on D-S evidential reasoning[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2000, 8(2):2-9. (in Chinese)

nese)

- [11] 高印寒, 周晓华, 梁杰. 数据融合技术在声全息测量中的应用[J]. *光学精密工程*, 2007, 17(7):1104-1111.
- GAO Y H, ZHOU X H, LIANG J. Application of data fusion to acoustic holography[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 17(7):1104-1111. (in Chinese)
- [12] HAKAN A. On the independence requirement in Dempster-Shafer theory for combining classifiers providing statistical evidence[J]. *Applied Intelligence*, 2006, 25(1):73-90.
- [13] 洪晓斌, 刘桂雄, 周钦河. 网络化测控平台选播运行模式策略[J]. *光学精密工程*, 2008, 16(5):957-964.
- HONG X B, LIU G X, ZHOU Q H. Strategy of anycast mode in networked measuring & controlling platform[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(5):957-964. (in Chinese)

作者简介:



周钦河(1975—),男,广东潮州人,博士研究生,讲师,2002年于华南理工大学获得硕士学位,主要从事网络化测控技术的研究。E-mail: zhouqinhe@139.com



洪晓斌(1979—),男,广东揭阳人,工学博士,副研究员,2007年在华南理工大学获得工学博士学位,主要研究方向为网络化测控技术。E-mail: mexbhong@scut.edu.cn



刘桂雄(1968—),男,广东揭阳人,教授,博士生导师,1990年、1995年在重庆大学分别获得学士和博士学位,主要从事智能传感技术、现代检测技术与网络化控制的研究。E-mail: megxliu@scut.edu.cn