

基于数据融合确保目标检测精度的传感器节点布置

袁朝晖¹ 王高峰²

(武汉大学计算机学院 武汉 430079)¹ (武汉大学微电子与信息技术研究院 武汉 430079)²

摘要 在使用无线传感器网络进行目标检测时,如何布置尽可能少的传感器节点而同时实现高的正确检测概率和低的误警率,是关键问题之一。采用数据融合技术,能实现传感器节点之间的协同,从而大幅提高目标检测精度。提出了用于目标检测的精度模型,分析了数据融合半径与传感器节点密度之间的关系,设计聚类方法将目标点组织成布置单元,从高密度单元到低密度单元布置传感器节点覆盖目标区域。仿真结果表明,算法在保证检测精度的同时能有效减少所使用的传感器节点数目。

关键词 传感器网络,节点布置,目标检测,数据融合

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Fusion-based Sensor Placement for Target Detection with Guaranteed Accuracy

YUAN Zhao-hui¹ WANG Gao-feng²

(School of Computer, Wuhan University, Wuhan 430079, China)¹

(Institute of Microelectronics and Information Technology, Wuhan University, Wuhan 430079, China)²

Abstract Sensor placement is a key issue in target detection, placing smaller sensors to achieve high detection accuracy which presented as a specific high detection probability and a low false alarm rate is very important. Data fusion based collaboration between sensors can boost the level of accuracy in general. In this paper, the accuracy model and the relationship between the fusion radius and density of sensors were analyzed; a quality-threshold clustering algorithm was employed to organize the surveillance locations into placement units, place sensors in them from the intensive to sparse one. Simulation results show that this placement algorithm can significantly reduce the total number of sensors with guaranteed accuracy.

Keywords Wireless sensor networks, Sensor placement, Target detection, Data fusion

1 引言

无线传感器网络(WSN)非常适合于“任务关键型”(Mission critical)应用,诸如目标检测、环境监测、事件追踪等。在应用中,传感器节点的布局直接影响到系统的资源消耗和整体性能。由于传感器节点价值昂贵,如何布置尽可能少的节点,同时保证高的系统性能,成为关键问题之一。然而,传感器节点采样到的数据由于噪声和衰减等影响所带来的不确定性使数据质量变低,从而难以计算出合理的节点位置布局来保证系统性能。

在目标检测中,以前的研究往往将传感器节点的检测区域抽象成为一个以该节点为中心、半径为 r 的圆。当目标出现在检测区域,即认为该目标能被正确检测出来,也称为“物理覆盖”(Physical covered)^[1-3]。但是,由于信号衰减和噪声的影响,传感器采样到的数据呈现出一定的概率特性^[4-6]。所以,即使节点与目标非常近,也不一定得出准确的检测结果。在这种特性下,目标检测结果的正确概率(Detection probability)和错误警报概率(False alarm rate)被引入,用以

描述系统的目标检测精度。例如,对于布置后的目标检测系统,要求目标出现后能被正确检测到的概率大于99%,而没有目标却发出检测警报的概率小于0.1%。

为了达到要求的检测精度,数据融合技术(Data fusion)被引入到传感器节点之间的协同之中^[7,8]。融合区域(Fusion range)定义为以目标出现点为圆心的圆,落入该区域的传感器节点同时采样目标泄露出的物理信号,传送给该区域的数据融合中心(一般为离圆心最近的节点),融合中心根据所收到的信息做出最终的检测结果。已有的大量工作已经表明,数据融合技术能大幅提高系统的检测精度和性能^[9-11]。

本文的工作致力于使用数据融合技术布置尽可能少的传感器节点来达到高的目标检测精度。提出了基于数据融合技术的目标检测模型来描述节点之间的协作过程;在这个模型的基础上,分析了节点密度和融合半径的关系,并用于设定系统的融合半径,同时提出了一个基于QT(Quality Threshold)聚类算法和数据融合技术的节点布置算法。实验结果表明,与以前的工作相比,在同样的检测精度要求下本布置算法能大幅减少所需要的节点数目。

到稿日期:2008-10-31 返修日期:2009-02-11 本文受国家杰出青年基金项目(60788402)资助。

袁朝晖(1976—),男,博士生,主要研究方向为无线传感网、EDA 软件工程等,E-mail:yzhaohui2@cityu.edu.hk;王高峰(1965—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为EDA 软件工程、VLSI 设计等。

本文第2节介绍信号能量衰减模型和数据融合模型,并且分析所需节点密度和融合半径之间的关系;第3、4节提出基于QT聚类的节点布置算法;第5节为仿真验证和结果分析;最后是结束语。

2 系统模型与分析

2.1 信号采样模型

对于目标泄露出的物理信号,例如声信号、震动波、电磁信号等,信号能量在传播中会随着距离的增加而衰减。传感器节点通过采样目标泄露出的信号能量来检测目标,我们采用已有的文献中广泛使用的能量衰减模型^[5]。假设目标泄露出的原始信号的能量为 E_0 ,而传感器节点采样到的信号能量可以抽象成为一个与距离相关的函数。如果衰减系数为 k ,传感器 s_i 采样到目标 u 发出的信号能量为

$$E(s_i) = \begin{cases} \frac{E_0}{(d_i/d_0)^k}, & \text{if}(d_i > d_0) \\ E_0, & \text{if}(d_i \leq d_0) \end{cases} \quad (1)$$

式中, d_i 为目标 u 与传感器节点 s_i 之间的几何距离, d_0 是与目标性质和传感器性能有关的一个常量。根据环境的不同, k 通常取值为2.0到5.0之间。

一个节点采样到的信号通常包含噪声信号,而噪声信号可以建模为服从期望为0、方差为 σ^2 的高斯分布。例如, $N \sim N(0, \sigma^2)$,设该节点采样到的噪声信号为 N^i ,当目标位置在 u 时,节点 s_i 采样到的所有能量和为

$$U_i = E(s_i) + N_i^2 \quad (2)$$

2.2 基于数据融合技术的检测精度模型

数据融合技术广泛用于改善检测系统的性能。假设在检测区域选定一个目标可能出现的位置集合 T (这些目标可能出现的位置可以根据具体的应用来选择,例如要检测整个区域中的所有点,可以选择均匀分布的网格点集合作为目标可能的位置集合,下文中称为目标点集合),对于每一个可能的目标点位置,定义以该点为圆心、以 R_f (R_f 的设定将在2.3节中分析)为半径的圆形区域为该目标位置的数据融合区。落入该区域的所有传感器节点参与数据融合来检测该目标。离目标点最近的传感器节点选为融合中心,所有参与融合的节点发送采样到的信号能量值到融合中心,融合中心将所有信号能量值的平均值和一个阈值 η 比较。如果均值大于 η ,则认为目标出现,否则做出没有目标的判断。

例如,在图1中,节点 s_1, s_2, s_3, s_4 将参与数据融合来检测在 T_1 点的目标。

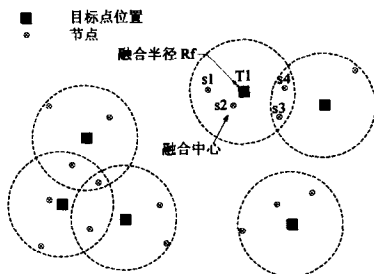


图1 数据融合模型

采用目标正确检测率(PD)和误警率(PF)来描述检测系统的精度,其中 PD 为目标出现并且被正确检测出来的概率,而 PF 为目标没有出现却被系统误报为出现目标的概率。假

设在融合区域中存在 n 个传感器节点参与检测目标 u ,每个节点采样到的目标发出的信号能量大小为 $E(s_i)$,并且检测到的噪声信号为 N_i^2 ,则误警率 PF 为

$$PF = P\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i^2 > \eta\right) = 1 - P\left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{N_i}{\sigma}\right)^2 \leq \frac{n\eta}{\sigma^2}\right) \quad (3)$$

设噪声信号是一个自由变量服从0均值且方差为 σ^2 的高斯分布,则 $\sum_{i=1}^n (N_i/\sigma)^2$ 服从自由度为 n 的卡方分布,记为 $\chi_n^2(\cdot)$,所以式(3)可以写为

$$PF = \chi_n^2\left(\frac{n\eta}{\sigma^2}\right) \quad (4)$$

同理,目标正确检测概率为

$$\begin{aligned} PD &= P\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E(s_i) + N_i^2) > \eta\right) \\ &= P\left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{N_i}{\sigma}\right)^2 > \frac{n\eta - \sum_{i=1}^n E(s_i)}{\sigma^2}\right) = 1 - \chi_n^2\left(\frac{n\eta - \sum_{i=1}^n E(s_i)}{\sigma^2}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

2.3 融合半径设定分析

由上述的模型可知,融合半径的设定对最终布置的传感器节点的个数有非常关键的影响。在本小节中,讨论如何设定系统的融合半径使得在同样的检测精度要求下需要的节点数最小。

设一个以待检测目标点位置 u 为中心、半径为 R_f 的圆形为融合区域, n 个节点落入该区域并参与融合检测。设置误检率的阈值(误检率的最大允许值)为 α ,则 $PF \leq \alpha$,根据式(4),有

$$PF = 1 - \chi_n^2\left(\frac{n\eta}{\sigma^2}\right) \leq \alpha$$

$$\chi_n^2\left(\frac{n\eta}{\sigma^2}\right) \geq 1 - \alpha$$

设卡方分布的累积密度函数(CDF)的反函数为 $\chi_n^{-1}(x)$,由于累计密度函数为单调递增函数,根据上式可得

$$n\eta \geq \sigma^2 \chi_n^{-1}(1 - \alpha) \quad (6)$$

设检测正确率的阈值(检测正确的最小允许概率)为 β ,则 $PD \geq \beta$,同理根据式(5)有:

$$\sum_{i=1}^n E(s_i) \geq n\eta - \sigma^2 \chi_n^{-1}(1 - \beta) \quad (7)$$

由式(6)和式(7),可得

$$\sum_{i=1}^n E(s_i) \geq \sigma^2 (\chi_n^{-1}(1 - \alpha) - \chi_n^{-1}(1 - \beta)) \quad (8)$$

根据信号能量衰减模型(1),当 $k > 1$ 且 $d_i > d_0$ 的时候,节点采样到的信号能量随着距离的增加而单调递减。 n 个节点落入当前融合区域,则最坏情况下的传感器节点布置为所有的节点均位于融合圆形区域的边缘之上,即所有的节点离目标点的距离均为 R_f ,检测到的均为最小的信号能量值。如果在这种节点布置下,目标仍然能达到要求的检测精度,则在当前的融合半径 R_f 下,在融合区域内无论如何布置这 n 个节点,目标均能按照同样高或者更高的精度被检测出来,由此得出融合半径的上限 R_u ,可以按照如下公式计算:

$$\sum_{i=1}^n E(s_i) = \frac{nE_0}{(R_u/d_0)^k} = \sigma^2 (\chi_n^{-1}(1 - \alpha) - \chi_n^{-1}(1 - \beta))$$

$$R_u = d_0 \left(\frac{nE_0}{\sigma^2 (\chi_n^{-1}(1 - \alpha) - \chi_n^{-1}(1 - \beta))} \right)^{1/k}$$

将节点的密度记为 ρ ,则 $\rho = n/\pi R_u^2$,由此得出在最坏节点布置情况下仍然能保证目标检测精度的最小节点密度 ρ 为

$$\rho = \frac{n}{\pi d_0^2} \left(\frac{\sigma^2 (\chi_n^{-1}(1-\alpha) - \chi_n^{-1}(1-\beta))}{nE0} \right)^{2/k} \quad (9)$$

根据上面的分析得出 ρ 和 Rf 之间的解析关系很难,但是可以通过计算得出它们之间的数值关系。设 $E0=400j$, $\alpha=0.01, \beta=0.9, d_0=1m, k=2, \sigma=1$, 图2画出了节点密度和融合半径之间的关系。从图2可以看出,当 $Rf=7.76m$ 时有节点密度的最小值,在以下的讨论中,将采用相同的方法设定融合半径。

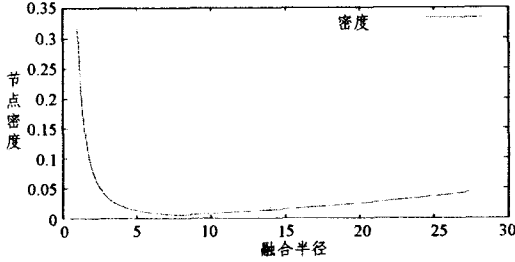


图2 节点密度和融合半径之间的关系

3 高目标检测精度的节点布置问题描述

在形式化描述节点布置问题之前,假设所有的传感器节点知道自己的几何位置(通过定位模块或者网络定位服务);并且节点间通信范围的作用距离大于融合半径^[12]。同时,假定两个目标同时出现并且要求共享节点同时检测两目标的概率很小,即在本文中不考虑一个节点同时检测两个目标的情况。

给定一个检测区域 A , 定义在该区域中一个传感器网络的节点布置为 $s = \{S_i | i=1, \dots, n\}$, 为一组节点位置坐标的集合, $N = |S|$ 为网络中节点的个数, 则节点布置问题可以描述如下。

给定:

(1) 在 A 中预先选取的可能出现目标的位置集合(目标点集合) $T = \{t_j | j=1, \dots, k\}$;

(2) 最小正确检测率阈值 β ;

(3) 最大误警率阈值 α ;

(4) 数据融合半径 Rf 。

节点布置算法的目标是寻找最小个数的节点位置集合, 使得所有目标点的正确检测概率大于 β , 且误警率小于 α , 即

$$(1) \min_{1 \leq j \leq k} \{PD_j\} \geq \beta$$

$$(2) \max_{1 \leq j \leq k} \{PF_j\} \leq \alpha$$

PD 和 PF 可以由式(4)、式(5)分别进行计算。

4 高目标检测精度的节点布置问题描述

4.1 目标点聚类算法

在引入节点布置算法之前, 首先介绍在节点布置算法中起关键作用的目标点聚类算法。聚类后的目标点聚簇要求具备以下几个特征: 首先, 所有聚簇的区域半径必须小于等于融合半径; 其次, 所有聚簇必须以一个目标点为圆心; 再次, 为了使得布置的传感器节点能够服务于更多的目标点, 聚类的顺序必须是, 从目标点密度最密的区域到稀疏区域。综合以上特点, 采用了与广泛用于数据挖掘中的 QT (quality threshold)^[13] 聚类算法相似的聚类方法, 其伪码描述如下:

算法1 目标点聚类算法

输入: 区域 A 中选定的目标点集合 $T = \{(x_j, y_j) | j=1, \dots, J\}$, 融合半径 Rf

输出: K 个目标点聚簇以及它们各自的成员

While 目标点集合中仍然有没有进入聚簇的目标点 do

For T 中的每一个目标点 t_j do

1. 将以 t_j 为圆心 Rf 为半径的圆形区域中所有的目标点包含进来组成候选聚簇 C_j ;

2. 统计每一个候选聚簇 C_j 的成员数目 d_j ;

End for

3. 选择成员数目 d_j 最多的候选聚簇输出为真正的聚簇。

4. 在 T 中移除已经进入聚簇的目标点。

End while

QT 聚类算法的输入为待聚类的目标点和融合半径, 每次循环中以目标点为核心且融合半径为聚类半径建立候选聚簇, 选择目标点最多的候选聚簇(即目标点密度最大的子区域)输出为真正的聚簇, 并且从目标点集合中移除所有的成员。该过程重复操作, 直到所有目标点均进入聚簇中。

4.2 传感器节点布置算法

从问题的描述可以看出该节点布置问题是一个非线性优化问题, 算法的优化目标为传感器节点的个数和位置坐标。为了解决这个问题, 动态调用 QT 聚类算法将目标区域划分成半径为 Rf 的子区域, 从中选择子区域布置节点, 每轮布置后从区域中去除至少一个已经覆盖的目标点。该过程重复操作, 直到所有目标点均被覆盖。该算法的伪码描述如下:

算法2 节点布置算法

输入: 目标区域 A , 目标点的位置集合 $T = \{t_j | j=1, \dots, k\}$, 检测正确率阈值 β , 误检率阈值 α , 融合半径 Rf 。

输出: M 个节点以及它们的坐标

1. 初始化: 将 Rf 作为算法1输入将目标位置集合聚类。

2. 在每一个聚簇的中心布置一个节点。

3. while 仍然有目标点没有被覆盖 do

4. 选择具备最大目标密度的聚簇

5. 在当前聚簇的区域内随机布置 $n-s_i$ 个节点。

/* n 可以由式(9)进行计算, s_i 是当前聚簇中已经的节点数目 */

6. 用式(4)、式(5)计算所有目标点的 PD

7. 在目标点位置集合中移除所有已经被覆盖的目标点。

8. 对剩下的目标点重新进行聚类。

End while

在算法2的第1步中, QT 聚类算法将所有节点按照密度和融合半径进行聚类, B 经过聚类后所有的聚簇区域必须以一个目标点为圆心且以 Rf 为半径。初始化过程在每个聚簇中心布置一个节点。该操作不能保证有目标被覆盖, 但由于所有聚簇至少会包含一个节点, 因此初始化过程布置的节点一定会参与到该聚簇中所有目标点的检测中。

在第2步中, 算法选定目标点密度最大的聚簇布置 $n-s_i$ 个节点, n 可以由式(9)算出。根据融合半径与节点密度的分析, 该操作可以保证至少聚簇中心目标点能被覆盖。实际上, 布置在该聚簇中的节点能参与该集簇中至少一半目标点的检测。

在完成一轮布置后, 重新计算所有目标点的 PD , 移除所有已经达到要求被覆盖的目标点。重复以上过程, 直到所有的目标点均被覆盖。

从算法2可知, 除了初始化过程外, 每一次循环中只需要

为一个目标点聚簇布置传感器节点,从而在调用 QT 聚类算法的时候只需要输出一个最密集的聚簇即可,不需要完整地全部聚类过程。

设需要布置传感器节点覆盖的目标点的个数为 $|T|$,由于产生一个最密集聚簇的操作需要查询每一个目标点一次,计算该点与其他所有 $|T|-1$ 个点之间的距离花费的时间为 $|T|$,因此产生一个聚簇的时间花费为 $|T|^2$ 。在每一轮节点布置过程中,至少覆盖一个目标点,更新所有目标点检测正确率的时间花费是 $|T|$ 。设在最坏情况下每一次只覆盖一个目标点,则在最坏情况下该算法的时间复杂度为 $|T|^4$,该算法仍然是多项式时间复杂度的算法。

5 实验仿真结果

为了评价基于聚类的节点布置算法的性能,使用 C++ 语言实现了上述传感器节点布置算法。在 5.1 节中给出本算法与贪心法节点布置相比较的结果,在 5.2 节中通过从小到大改变融合半径来验证 2.3 节中对融合半径分析的理论结果的合理性。

5.1 算法性能验证

实验采用 8 个不同的节点布置用例,其中 4 个用例选定的可能目标点集合由规则均匀分布的网格点组成,目标点的数目从 16 个到 198 个;另外 4 个由在区域中随机产生的目标节点集合组成,目标点的数目从 20 个到 200 个,目标区域的大小选定为 $30 \times 30\text{m}$ 。

为了与前人的工作相比较,我们同时实现了类似于文献 [7,8] 中采用的贪婪算法为基础的节点布置算法。该算法简要描述如下:计算所有节点的正确检测概率,选取检测率最小的目标点,在离其最近的网格点上布置一个传感器节点。重复该操作过程,直到所有的目标点的正确检测率均达到要求。

图 3 反映了比较结果。在所有的计算中,设定 $k=2, E_0=400j, d_0=1\text{m}, \sigma=1, \alpha=0.01, \beta=0.9$ 。从该图中可以看出,对于所有的用例,该算法均能大幅度减少使用的节点个数。例如,在区域中覆盖 81 个网格目标点,该算法只需要 9 个节点即可使每个目标点均达到要求的检测精度。而基于贪心的算法,需要 16 个节点方能达到同样的检测精度。在平均情况下,与贪心法相比,基于聚类的节点布置算法能减少 22% 的节点个数。

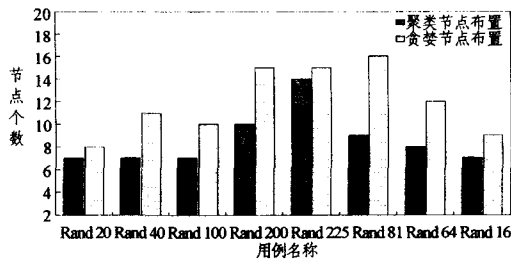


图 3 两种节点布置算法的比较

5.2 融合半径对节点布置结果的影响

为了验证 2.3 节中对融合半径的理论分析结果,我们选定用例 Rand40,该用例包含在 $30 \times 30\text{m}$ 区域中的 40 个随机分布的检测目标点。融合半径的设定从 2 到 12 逐渐递增,其他的参数设定不变,分别使用基于聚类的布置算法和贪心布置算法。图 4 反映了实验结果。从该图中可以看到曲线与图

2 中的理论计算曲线非常接近。无论是聚类布置还是贪心布置,在 6 到 8 之间存在一个合理的融合半径 R_f 值,使得布置后需要的节点个数最小。

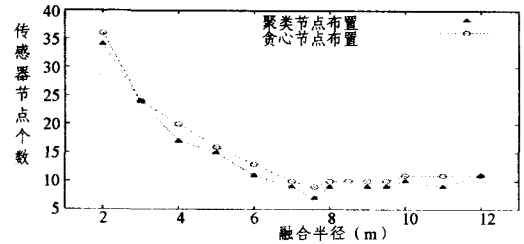


图 4 融合半径与节点个数的关系

从上述的实验中还注意到一个现象:传感器节点布置的个数的多少并不随着目标点个数呈比例增长。例如在图 3 中,目标节点的个数从 20 变化到 200,增长了 10 倍,而用于检测的节点数目从 8 变到 16,仅仅增加了 2 倍。这个现象说明在一个固定大小的区域中,或许存在一个合适的传感器节点布置,使得无论目标出现在该区域中的任何位置,该传感器检测系统均能有效准确地检测出该目标。该假设需要理论和实践上的证明。寻找最合理的节点布置,同时实现全区域的准确覆盖是非常有价值的,是我们下一步的工作之一。

结束语 本文针对高准确率的目标检测应用,提出了使用数据融合技术的传感器节点协同检测模型。在此模型的基础上,分析了数据融合半径与节点密度之间的关系。设计了以聚类算法为基础的传感器节点布置算法。实验结果表明,与先前的节点布置算法相比,在同等的检测精度下本布置算法能有效减少需要的节点个数。

参考文献

- [1] 马祖长,孙怡宁,梅涛. 无线传感器网络综述[J]. 通信学报, 2004, 25(4): 114-124
- [2] Meguerdichian S, Koushanfar F, Potkonjak M. Coverage problems in wireless an-hoc sensor networks[C]// Proceedings of 20th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Vol. 3, Anchorage, USA, 2001
- [3] Huang C, Tseng Y. The coverage problem in a wireless sensor network[J]. Mobile Networks and Applications, 2005, 10(4): 519-528
- [4] Wang G, Wang W, Srinivasan V. Information coverage for wireless sensor networks[J]. IEEE Communication Letters, 2005, 9(11): 967-969
- [5] Varshney P. Distributed detection and data Fusion[M]. Springer, 1997
- [6] Zou Y, Chakravarty K. Uncertainty-aware and coverage-oriented deployment for sensor networks[J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2004, 64(7): 788-798
- [7] Clouqueur T, Ramanathan P, Saluja K. Value-fusion versus decision-fusion for fault-tolerance in collaborative target detection in sensor networks[C]// Proceedings of 4th International Conference on Information Fusion. Montreal Canada, Aug. 2001
- [8] Clouqueur T, Phipatanasuphorn P, Ramanathan V. Sensor deployment strategy for target detection[C]// Proceedings of the First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications. Atlanta, USA, 2002

(下转第 134 页)

环境或异构资源,因此 CRP 的访问模型和实现都是满足 SOA 功能特征的。建立 UDDI 中心需要在 CPRWare 软件平台的基础上进行,具体设计的实现框架如图 5 所示。

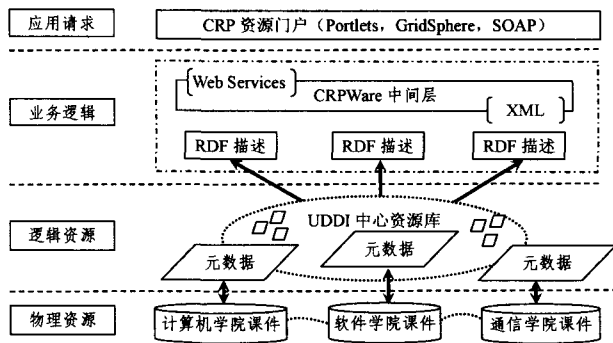


图 5 基于 CRPWare 的校园异构教学资源库实现框架

从图 5 可以看出异构资源库的建立过程。首先对各学院目前独立的异构资源进行元数据抽取,形成校园集成的 UDDI 中心资源库。经由 UDDI 中心供上层访问的资源是逻辑资源,再通过资源描述框架 RDF 进行元数据的统一描述,该描述是基于 XML 格式的。最后通过 CRP 中间层提供的资源组件开发功能将这些物理资源经逻辑描述后形成对应的 Web 服务,供应用层请求和用户访问。用户请求可通过门户统一集中访问^[13],如何由逻辑资源到供上层访问的 Web Service,由 CRPWare 服务管理层完成,逻辑资源通过 CRPWare 中的 .Net 或 Java Applet 组件开发技术实现。

校园资源既能保证全局数据的共享,又能保证各应用系统及其数据库管理系统的自治,确保基于异种系统平台实现对异构数据库的查询和联合使用,为构造出用户所需要的透明性的全局数据库,提供一个独立于特定数据库管理系统的统一编程界面。具体地讲,就是要将数据库管理系统的不同、操作系统的不同、计算机平台的不同或者底层网络的不同屏蔽掉,使用户可以将异构数据库系统看成普通的数据库系统,用自己熟悉的数据处理语言去访问数据库,如同访问一个普通数据库一样,对其进行透明的操作。

结束语 本文讨论了高校信息系统集成框架中如何实现各遗留系统的集成,在论述异构应用系统集成技术 CORBA 和 Web 服务的基础上,通过两者的比较说明了用 Web 服务更能体现 SOA 架构的优势。由于校园资源和人力更复杂,因

此对于校园真正全面实现数字化建设也将会有一段路要走。尽管已经有不少高校开展了数字化校园或信息化校园的建设工作,但还没能及时与业界的高新技术结合起来。高校在理论研究领域有时是领先于企业界的,所以本文更多的是通过对 SOA, J2ME 和 XML 等新技术的研究,试图将其转化为校园生产力和无线消息办公模块中应用是有效的。

参考文献

- [1] 蒋东兴,陈怀楚,等. 数字校园信息整合之我见[EB/OL]. <http://www.cic.tsinghua.edu.cn/download.jsp?attachSeq=1300>
- [2] 饶元. 面向服务体系结构的企业资源计划系统应用模型与集成策略[J]. 计算机集成制造系统, 2006, 12(10): 1571-1576
- [3] Sagi S. An Approach to ERP Testing Using Services[A]//IEEE International Conference on Software-Science[C]. Technology & Engineering, Oct. 2007: 14-21
- [4] Wu A C H, Fang Kwoting. A Study of Applying the Structuration Model of Technology to the Implement of Enterprise Resource Planning[C]//PICMET 2007. Aug 2007: 1771-1776
- [5] 蒋东兴,史宗恺,等. 大学资源计划的方案研究[J]. 清华大学学报, 2004, 44(4): 572-576
- [6] 邱岩. 组件技术及其分析比较[J]. 计算机工程与设计, 2003, 24(7): 13-17
- [7] 徐光侠,杨丹. 基于 Web Services 技术的异构系统的无缝集成[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(6): 1409-1411
- [8] 岳昆,王晓玲,周傲英. Web 服务核心支撑技术: 研究综述[J]. 软件学报, 2004, 15(3): 428-442
- [9] 胡春明,怀进鹏,孙海龙. 基于 Web 服务的网格体系结构及其支撑环境研究[J]. 软件学报, 2004, 15(7): 1064-1073
- [10] 杨学明. 基于 J2EE 的数字校园系统架构研究[J]. 宁波大学学报: 理工版, 2006, 19(2): 218-221
- [11] 刘敏,严莺薇. 基于面向服务架构的企业间业务协同服务平台及技术研究[J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14(2): 306-314
- [12] 汪锦岭,金蓓弘,李京. 一种高效的 RDF 图模式匹配算法[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(10): 1763-1770
- [13] Bai Xiaoming, Song Ruliang, Hou Zonghan. The study on secure distributed workflow architecture based SOA[C]//International Conference on Power System Technology. Oct. 2006: 1-5

(上接第 54 页)

- [9] King G, Lu C, Pless R. Co-grid: an efficient coverage maintenance protocol for distributed sensor networks[C]//Proceedings of the 3rd International Symposium on Information Processing in Sensor Networks, Berkeley, USA, 2004
- [10] Yu L, Yuan L, Qu G. Energy-driven detection scheme with guaranteed accuracy[C]//Proceedings of the 5th International Conference on Information Processing in Sensor Networks, Nashville, USA, 2006
- [11] Meguerdichian S, Koushanfar F, Pothonjak M. Coverage problems in wireless ad-hoc sensor networks[C]//Proceedings of 20th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, vol. 3, Anchorage, USA, 2001
- [12] Wang X, Xing G, Zhang Y. Integrated coverage and connectivity configuration in wireless sensor networks[C]//Proceedings of

the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Colorado, USA, 2003

- [13] Chen W, Hou J, Sha L. Dynamic clustering for acoustic target tracking in wireless sensor networks[J]. Mobile Computing, IEEE Transactions on, 2004, 3(3): 258-271
- [14] Heyer L, Hruglyak S, Yooshep S. Exploring expression data: identification and analysis of coexpressed genes[J]. Genome Research, 1999, 9(11): 1106-1115
- [15] Xing G, Wang J, Shen K. Mobility-assisted spatiotemporal detection in wireless sensor networks[C]//Proceedings of the 27th International Conference on Distributed Computing Systems, Beijing, China, 2008
- [16] Hata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services[J]. Vehicular Technology, IEEE Transactions on, 1980, 29(3): 317-325