

无线传感器网络中基于融合贡献的传输延时分配算法

段 斌<sup>1,2</sup> 柯 欣<sup>1,2</sup> 皇甫伟<sup>1</sup> 周新运<sup>1</sup> 孙利民<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(中国科学院软件研究所信息安全国家重点实验室 北京 100080)

<sup>2</sup>(中国科学院研究生院 北京 100049)

(duanbin05@ios.cn)

An Aggregate Contribution Based Delay-Time Allocation Algorithm for Wireless Sensor Networks

Duan Bin<sup>1,2</sup>, Ke Xin<sup>1,2</sup>, Huang Fuwei<sup>1</sup>, Zhou Xinyun<sup>1</sup>, and Sun Limin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(State Key Laboratory of Information Security, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

<sup>2</sup>(Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

**Abstract** A primary goal in the design of wireless sensor networks (WSNs) is lifetime maximization, constrained by the energy capacity of batteries. By introducing in-network processing technology, data aggregation has been recently proved to be an effective method to reduce the redundant energy consumption and prolong the network lifespan. Data aggregation can also improve the data accuracy and reliability. When applying specific aggregation schemes to reality, it is necessary to take into account the aggregation time factor, whose increase will improve the aggregation efficacy but deteriorate network transmission performance. And how to allocate the entire delay-time along each route to attain a balance between these two factors is significant. In this paper, a novel aggregate contribution based delay-time allocation algorithm(ACDA) is proposed, in which the impact on aggregation efficacy of different positions in the route tree is quantified first, then the aggregate contribution is gradually refined through an iterative update process, and finally the aggregation time of every node at sink is proportionally allocated. Since this scheme takes into full consideration of location discrepancy and interaction between nodes, The simulation results show that the ACDA achieves a better performance in both aggregation gain and transmission real-time property when compared with other present schemes, just shown in the simulation results.

**Key words** data aggregation; transmission delay time; aggregate contribution; aggregation gain; transmission real-time performance

**摘 要** 数据融合是降低无线传感器网络的冗余能耗、延长网络生存期的有效手段之一。传输延时的分配是数据融合中的重要问题,它对网络融合的效果和数据分组的传输延迟具有很大影响。提出了一种基于融合贡献的传输延时分配算法 ACDA(aggregate contribution based delay-time allocation),量化了路由树中不同位置的节点对融合效果的影响,并依此按比例分配融合等待时间。算法充分考虑到了各节点在路由树中的位置差异性和节点间的相互影响。仿真结果表明,同现有的几种延时分配算法相比,ACDA 能够更加有效地改进数据融合效果,提高网络实时性。

**关键词** 数据融合;传输延时;融合贡献;融合增益;传输实时性

中图法分类号 TP393

无线传感器网络是由部署在监测区域的大量微型传感器节点通过无线通信方式形成的多跳自组织网络系统<sup>[1]</sup>。单个传感器节点由于能量和计算能力的限制,监测范围和采集数据精度非常有限,因此进行网络部署时需要达到较高的覆盖密度以保证整个网络的鲁棒性和监测信息的准确性。这会使相邻节点间所采集的数据存在一定的冗余性。此外,对于类似获取某监控地区最高气温的聚集应用,并不需要将所有原始采样数据都集中到汇聚节点后再进行处理。针对上述情况,有必要对冗余数据进行网内综合处理,即数据融合(data aggregation 或 data fusion),从而最小化数据传输量,提高网络传输效率,节省节点宝贵的能量资源。数据融合技术能够有效减轻网络传输拥塞,降低无线冲突概率。此外,对邻近节点进行数据融合,有助于消除单个节点因外界环境噪声以及观测波动性所造成的观测误差的影响,提高数据精度和可信度。

在实际应用融合策略时需要考虑融合等待时间的长短问题,它对于数据融合的效果和网络延迟有很大影响。在无线传感器网络中,由于其他节点的数据无法同时到达,转发节点必须等待一段时间以期获得较多的数据分组进行融合。从整体上看,等待的时间越长可能收到的数据分组越多,数据融合的效果就越好。但是长时间的等待会影响网络传输的实时性。因此需要将总的传输允许延时合理地分配到每个中转节点上,以达到数据融合效率和网络实时性间的最佳平衡。

目前专门针对传输延时分配策略的研究尚处于起步阶段。在定向扩散路由(direct diffusion)<sup>[2]</sup>中,所有节点都按照统一的预设时间进行传输延时。虽然该策略简单易行且看似公平,但实际上忽略了网络中节点间传输负载的差异性,融合效果较差。在SPIN<sup>[3]</sup>传输协议中,节点在进行数据传输之前先通过协商确定所要接收的数据总数,然后等待收齐所有数据并进行处理后再进行下一跳传输。该策略能够最大程度地减少数据冗余,但无法控制节点传输延时的长度,难以保证传输实时性。文献[4]提出了一种集中式的算法(brute-force),即比较所有可能的延时分配方案下传输路径上各节点进行数据融合的概率以及所产生的增益值,增益值最大的延时分配方案即为所求。但这种类似穷举的方法计算复杂度很高,难以实现。作者随即提出了一种近似的启发

式算法,规定在每条路由中将所有可能的延时时间集中在一个节点上。这种粗粒度的简化一定程度上考虑到了关键节点对全网融合的影响,在紧延时约束条件下能够获得较好效果。文献[5]提出了一种协商式的分布式分配方法。在网络应用过程中,各传感器节点按照一定的规则自主地增加传输延时的时间。汇聚节点则负责检查接收的每一个分组是否超时。一旦发现分组超时汇聚节点启动超时信息广播,使相应的节点减少延时时间。此过程不断重复,直到到达稳定状态。该策略能够有效地抑制数据分组超时,但其融合效果并不突出,而且何时能够达到稳定状态也很难控制。

本文根据网络拓扑路由以及各节点对传输效率的贡献,提出了一种集中式的网络传输延时分配策略。算法充分考虑到各节点在路由树中的位置差异性和节点间的相互影响。通过该策略可以有效地保证传输实时性,提高数据融合效率。

## 1 网络模型

本文研究周期性数据收集型的传感器网络:假设传感器网络由 $N$ 个节点组成,节点每隔 $T_c$ 时间产生一个数据分组并传输至汇聚节点。所有数据分组的长度都相等,且自数据产生至抵达汇聚节点的传输延时允许均为 $T$ 。

数据融合等待时间被引入到该模型中:节点在自身生成数据分组或收到其他节点数据分组后并不立即转发,而是等待一段预设时间以期获得更多的数据分组,并在时间结束后才进行数据融合并转发。为了便于分析,本文假设网络中每个节点都能够将其所接收到的任意多个数据分组通过数据处理融合为一个新的等长数据分组,融合运算时间要远远小于传输延时允许 $T$ ,从而可以忽略数据处理时延。

## 2 基于融合贡献的传输延时分配算法

### 2.1 算法执行流程

无线传感器网络部署后节点按照特定的路由协议自组织形成路由,全网会形成一棵以汇聚节点为根的多级路由树<sup>[6]</sup>。对于树中的每个节点,一方面,节点各自子孙节点的个数和距离汇聚节点的跳数可能差别很大,因而待转发的数据量和融合后数据被

再次中转的次数不同,在不同点进行延时等待也会达到不同的融合效果;另一方面,节点的数据融合操作会改变网络的数据流量分布特性,因而也会影响其他节点的融合效果.因此,在进行传输延时分配时必须充分考虑到节点间的差异性和相互影响,以获得较好的效果.基于上述原因,本文提出了基于融合贡献的延时分配算法(aggregate contribution based delay-time allocation, ACDA),其核心思想是根据各传感器节点在网络路由中的位置和相互影响关系,计算节点数据融合对全网传输效率的贡献(简称融合贡献),并依此对总传输允许延时进行分配.算法具体分为融合贡献计算和传输延时分配两个

步骤.

本文算法需要汇聚节点掌握网络全局路由信息,这可以通过路由建立阶段后的一次全网路由信息汇报来实现.而算法执行完毕后的分配结果则通过广播的方式传送至各节点.所有的上述操作均在网络初始化阶段完成,在实际运行阶段,节点只需简单地参照分配结果进行融合等待即可.为了弥补集中式算法难以适应网络拓扑变化的缺陷,我们还可以将网络运行期划分为多个定长周期,并在每个周期初始阶段重新执行 ACDA 算法以获得新的延时分配.图 1 给出了单个运行周期内应用 ACDA 算法的执行流程:

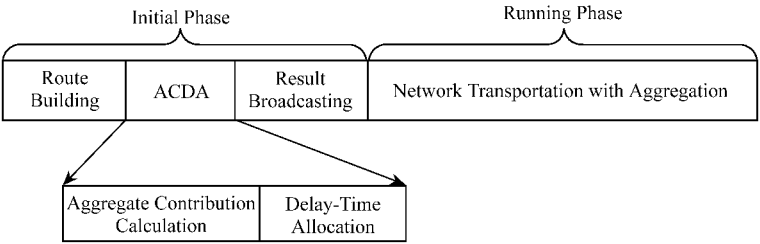


Fig. 1 Basic process of ACDA algorithm.

图 1 应用 ACDA 算法的执行流程

2.2 融合贡献计算

定义 1. 将网络中所有需要通过节点  $i$  进行数据转发的节点称之为节点  $i$  的“路由子节点”,它们组成路由子节点集  $RC_i$ ;将所有转发节点  $i$  数据的节点称之为节点  $i$  的“路由父节点”,它们组成路由父节点集  $RP_i$ . 集合  $RC_i$  和  $RP_i$  的元素数目分别记为  $|RC_i|$  和  $|RP_i|$ .

以图 2 所示的一个简单网络为例,其中 0 号节点为汇聚节点,两节点间有向线表示数据流向.节点 2 的路由子节点包括节点 4~7,  $|RC_2| = 4$ ,没有路由父节点;节点 4 的路由子节点包括节点 5~7,  $|RC_4| = 3$ ,路由父节点为节点 2.

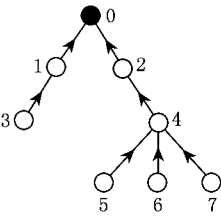


Fig. 2 Sketch map of a simple network route.

图 2 一个简单网络的路由示意图

为了考虑节点间融合操作的相互影响,本文将算法中已经指定的执行数据融合操作的节点集合记

为融合节点集  $S$ ,余下其他节点组成非融合节点集.对于指定融合节点集的网络,融合贡献定义如下:

定义 2. 节点  $i$  的融合贡献定义为在指定融合节点集条件下节点  $i$  处进行数据融合,对于单周期  $T_c$  内产生的数据,网络传输中可能减少的最大分组传输次数用  $Con_i$  表示.

节点的融合贡献在近似意义上衡量了节点  $i$  处的理想融合操作对于全网传输效率的提升幅度,节点融合贡献越大,在该点分配融合等待时间就能达到越好的融合效果.

下面我们分两种情况讨论融合贡献的计算方法:

1) 当融合节点集  $S$  为空时

在这种情况下,除节点  $i$  外的网内其他节点均不进行融合操作.由于本文假设节点在数据处理时可以将所有接收的数据分组融合为一个数据分组,因此路由子节点个数越多的节点可能融合的数据分组就越多;而在路由子节点数目相同的情况下,节点距离汇聚节点跳数越远,融合后所减少的网络传输次数就越多.即节点融合贡献与路由子节点数和距离汇聚节点的跳数成正比.记  $h_i$  表示节点  $i$  距离汇聚节点的跳数,则当融合节点集  $S$  为空时,节点  $i$  的初始融合贡献计算表达式如下:

$$Con_i = |RC_i| \times h_i, \text{ if } S = \emptyset. \quad (1)$$

根据式(1),网络中除叶节点外的每个传感器节点的初始融合贡献都大于0.例如图2中节点4的初始融合贡献  $Con_4 = 6$ ,表示在节点4处进行数据处理可以融合其3个路由子节点的数据,并减少它们从节点4到汇聚节点的2跳共6次网络传输.叶节点由于没有路由子节点,也没有数据转发的任务,因此其融合贡献为0.

## 2) 当融合节点集 $S$ 为非空时

在这种情况下,必须考虑已有的融合节点对其他节点融合贡献的影响.考虑在同一条路由上的两个节点  $A$  和  $B$ ,假设  $A$  是  $B$  的路由父节点,那么在  $B$  处的融合操作会减少  $A$  处的传输数据量,而在  $A$  处的融合操作将会使得来此  $B$  处的数据流量不再对后续传输造成影响.仍以图2为例,若节点4被指定为融合节点,可近似认为节点5~7的数据会与节点4融合为一个数据分组.这样,节点2需要转发的数据分组由4个变为了1个,此时节点2的融合贡献变为  $Con_2 = 1 \times 1 = 1$ .而若节点2被指定为融合节点,则节点4所转发的所有数据在节点2处都将被融合为一个数据分组,此时节点4处的融合操作只能减少从节点4到节点2的一跳网络传输,因此  $Con_4 = 3 \times 1 = 3$ .

记  $RCA_i$  表示节点  $i$  的所有路由子节点中融合节点组成的集合,即  $RCA_i = RC_i \cap S$ ;记  $RPA_i$  表示节点  $i$  的所有路由父节点中融合节点组成的集合,即  $RPA_i = RP_i \cap S$ ;记  $RCA_i$  中所有节点的路由子节点的并集为  $\bigcup_{j \in RCA_i} RC_j$ .则当融合节点集  $S$  为非空时,对节点  $i \in S$  按下式计算其融合贡献:

$$Con_i = (|RC_i| - |\bigcup_{j \in RCA_i} RC_j|) \times (h_i - \max_{j \in RPA_i} \{h_j\}), \text{ if } S \neq \emptyset. \quad (2)$$

事实上,式(1)可以看成式(2)在  $RCA_i = \emptyset$  和  $RPA_i = \emptyset$  情况下的一个特例.

ACDA 算法的融合贡献计算过程实际上是一个按权重逐步选取节点的迭代过程:在初始阶段,融合节点集  $S$  为空,按照式(1)计算各节点初始融合贡献,然后从非融合节点集中选取一个融合贡献最大的节点加入融合节点集,并通过式(2)对非融合节点的融合贡献值进行重新计算;算法不断迭代这一步骤,直到网络中所有非叶子节点都成为融合节点为止.节点融合贡献计算过程的伪代码如图3所示:

Definition:  $n_i$  represents node  $i$ ,  $E$  is the collection of all nodes in network,  $L$  is the collection of all leaf nodes,  $A$  is the collection of aggregate nodes,  $C$  is the collection of aggregate contribution values of nodes

Input:  $E$  and network route relationship;

Output:  $C$ ;

Procedure:

①  $L = \emptyset, A = \emptyset, C = \emptyset$ ;

② Generate  $L$  according to  $E$  and network route relationship;

③ If  $E/L = \emptyset$

Goto Step8;

④ For every  $n_i \in E/A$ , calculate  $Con_i$  according to formula(2);

⑤ Select  $n_i$  that for any  $n_j \in E$ ,  $Con_i > Con_j$  or  $Con_i = Con_j, h_i \geq h_j$ ;

⑥  $E = E/n_i, A = A \cup \{n_i\}, C = C \cup \{Con_i\}$ ;

⑦ Goto Step3;

⑧ For any  $n_i \in L$ , set  $Con_i = 0, C = C \cup \{Con_i\}$ ; output  $C$ .

Fig. 3 Pseudo-code of the calculation procedure of aggregate contribution.

图3 节点融合贡献计算过程的伪代码

## 2.3 传输延时分配

通过多轮迭代的融合贡献计算和节点选取,网络中的每个节点都获得了较为合理的融合贡献值.对于每条从叶节点到汇聚节点的路由来说,节点间融合贡献的比值代表了数据融合的相对有效程度,因此可以作为划分传输延时的标准.假设网络中任意一条  $h$  跳路由的各跳节点集合为  $\{n_1, n_2, \dots, n_h\}$ ,则节点  $n_i$  的分配延时  $T_{n_i}$  按下式计算:

$$T_{n_i} = \frac{Con_{n_i}}{\sum_{j \in \{n_1, \dots, n_h\}} Con_j} T. \quad (3)$$

按照式(3)计算出网络中每条路由上各跳节点的传输延时长度,即可完成全网节点的传输延时分配.对属于多条不同路由的节点(例如图2中的节点2),式(3)可能会给出多个不同的延时分配值.为了保证传输实时性,规定在这种情况下选择长度最小的延时值作为最终的分配结果.

## 3 仿真分析

### 3.1 评估准则和内容

为了对算法性能进行准确的评估,本文采用融合增益  $G$  和非实时传输比例  $M$  来分别量化数据融合效果和网络传输实时性:

融合增益  $G^{[4]}$  被定义为应用数据融合策略后减少的网络传输量与未应用前网络传输总量之间的比值,它体现了融合对于减少冗余传输的效果,一定程度上反映了节点能量的利用效率.令  $t_0$  表示执行

给定应用时网络传输的总次数,  $t_a$  表示应用数据融合后执行相同应用网络传输的总次数, 则  $G$  的定义如下:

$$G = 1 - \frac{t_a}{t_0}. \quad (4)$$

另一个评价指标是非实时传输比例  $M$ , 它被定义为未能在实时性约束  $T$  内达到汇聚节点的数据分组所占所有源数据分组的比例, 一方面它与网络规模和延时约束相关, 另一方面它体现着融合算法对于网络传输实时性的影响. 令  $n_d$  表示最终到达汇聚节点但超时的数据分组个数,  $n_c$  表示传输过程中冲突掉的丢失分组个数,  $n_v$  表示在延时约束  $T$  内传输到汇聚节点的有效数据分组个数, 则  $M$  的定义式如下:

$$M = \frac{n_d + n_c}{n_d + n_c + n_v}. \quad (5)$$

为了验证本文延时分配策略的优劣, 我们与如下 3 种典型的算法进行性能比较, 分别用 A1, A2 和 A3 表示.

A1. 平均分配算法: 文献[7]中描述的简单算法, 即根据网络的最大跳数, 将最大传输允许延时  $T$  平均分配到每个节点上, 如式(6)所示(其中  $H$  表示网络最大跳数):

$$T_i = \frac{T}{H}. \quad (6)$$

A2. 逐层分配算法: 针对网络中距离汇聚节点越近的传感器节点数据转发任务越重的特点, 将节点根据跳数分层, 并按照式(7)为各层节点进行延时分配(其中  $H$  表示网络最大跳数), 使得层数越小的节点传输延时越长.

$$T_i = \begin{cases} \frac{T}{2^{h_i}}, & h_i < H, \\ \frac{T}{2^{h_i-1}}, & h_i = H. \end{cases} \quad (7)$$

A3. 确定融合点算法: 文献[4]中提出的 Brute-Force 的简化启发式算法, 即根据节点的融合概率和融合增益期望, 在传输路由上仅选取一个节点作为融合节点, 并将全部传输延时  $T$  分配到该点上.

本文提出的基于融合贡献的传输延时分配策略记为 A4.

### 3.2 实验建立

我们通过 glomosim 模拟器进行仿真验证. 运行参数配置如下:  $N$  个传感器节点均匀随机分布在  $4R \times 4R$  ( $R$  为节点通信半径) 的矩形部署区域内, Sink 节点放置在左上角(0,0)点位置; 节点采用

IEEE 802.11 MAC 协议进行通信, 无线通信带宽为 1Mbps; 各传感器节点每隔 1s 发送一个长度为 200B 的数据分组, 数据实时性约束为  $T$ ; 整个仿真历时 200s.

### 3.3 性能比较

1) 我们首先令网络规模  $N=81$ , 比较在不同的延时约束下 4 种算法在融合增益和非实时传输比例方面的性能优劣, 仿真结果如图 4 和图 5 所示. 图中的数据是多次仿真实验的平均值, 是不同网络拓扑结构下的平均效果.

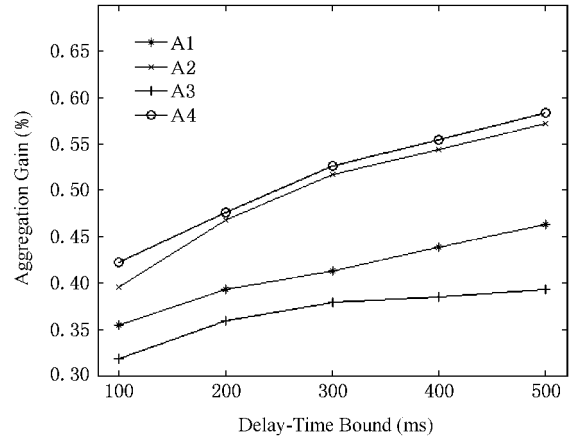


Fig. 4 Aggregation gain vs. delay-time bound.

图 4 融合增益与延时约束

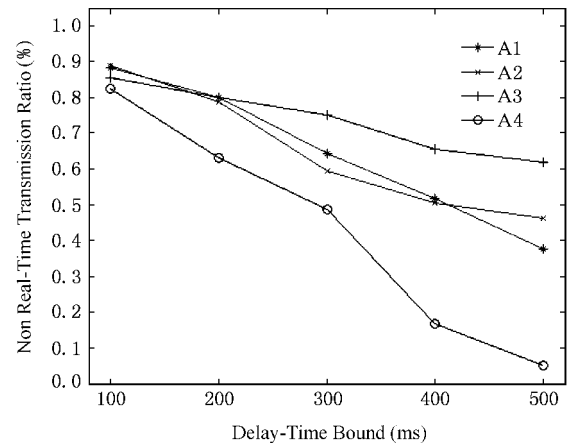


Fig. 5 Non real-time transmission ratio vs. delay-time bound.

图 5 非实时传输比例与延时约束

在融合效果方面, 如图 4 所示, A4 明显优于 A1 和 A3, 融合增益平均分别比两者提高了约 30% 和 50%. 不过同 A2 相比, 优势并不明显. 这是由于 A2 算法考虑了节点层级间的差异, 当节点分布较均匀时, 网络拓扑结构更接近于其适用情况, 因而也能取得较好的融合效果. 从整体来看, 各算法的融合增益都随  $T$  的增加而增大, 但 A4 和 A2 增长幅度均较大.

从图 5 可以看出,当  $T = 100\text{ms}$  时,延时约束相对紧迫,4 种算法的实时性差异不大,都受到网络规模的限制。而当  $T = 500\text{ms}$  时,延时约束相对宽松,A4 要明显好于其他 3 种,基本上当 A4 的非实时传输比例已降到 5% 左右时,A1、A2 和 A3 还都在 30% 以上。此外,各算法的非实时传输比例都随  $T$  的增加而递减,但 A4 的递减趋势最为明显。

从上述实验我们可以得出如下结论:与其他 3 种算法相比,ACDA 能够更为有效地提高网络实时性,且随着传输允许延时的增加快速收敛,获得较低的非实时传输比例;同时 ACDA 的数据融合增益一直最大,能够减少近 60% 的冗余数据分组,有效避免了能量浪费。

2) 为研究 4 种算法对不同规模网络的适用情况,改变网络节点个数  $N$ ,即分别取 25、36、49、64、81 和 100。固定传输延时  $T = 400\text{ms}$ ,其他实验参数不变,仿真结果如图 6 和图 7 所示:

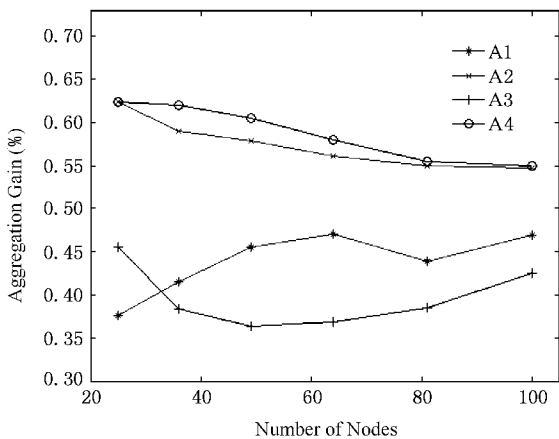


Fig. 6 Aggregation gain vs. number of nodes.

图 6 融合增益与节点个数

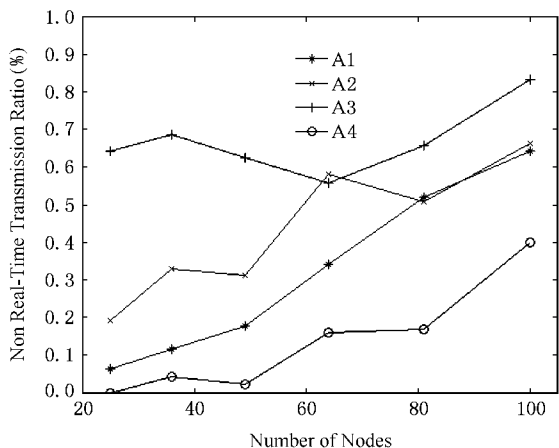


Fig. 7 Non real-time transmission ratio vs. number of nodes.

图 7 非实时传输比例与节点个数

从图 6 可以看出,对于不同规模的网络,A4 所能获得的融合增益都是 4 种方案中最大的,同 A1 和 A3 相比,融合增益平均分别提高了近 30% 和 50%。但同样的,A2 和 A4 融合增益曲线仍然很相近,且变化趋势相同。从曲线的整体趋势看,随着网络规模的增大,A2 和 A4 的融合增益均下降,这是由不断加剧的网络冲突和拥塞所造成的。

在传输实时性方面,如图 7 所示,A4 的性能要明显优于其他 3 种。尤其当节点个数较少、最大传输延时相对网络规模比较宽裕时,A4 可以将非实时传输比例控制得非常低,均在 5% 以内。当  $N \leq 21$  时,A4 甚至能够保证成功收到所有的数据分组。随着节点个数的增多,网络实时性的变差,A4 依然能够最为有效地改善网络质量,抑制数据分组超时。

上述实验展现了 ACDA 对于不同网络规模和拓扑结构的适用情况。随着网络规模的变大,ACDA 一直能够有效地提高传输实时性,获得最多的有效数据分组,尤其在小规模网络环境下效果更为明显;同时能够保持较高的融合增益,即使整体趋势略有下滑。

## 4 小结和进一步研究

本文针对周期性数据收集型的传感器网络,提出了一种集中式的传输延时分配策略 ACDA。算法根据每个节点进行数据融合对网络传输效率的贡献,将网络应用所允许的最大传输延时按比例分配到各节点上。仿真结果表明,同现有的几种延时分配算法相比,ACDA 能够更加有效地提高数据融合增益,保证网络实时性。

ACDA 算法具有如下特点:充分考虑节点间传输负载和跳数的差异性,在传输延时紧迫和宽裕情况下均能获得较高的网络实时性;充分考虑节点在路由树中不同位置对融合效果的影响,能够有效减少网内冗余,获得较高的融合增益;算法时间复杂度较低,为  $O(N^2)$ ,且容易实现。但同其他集中式算法一样,它无法有效地适应网络拓扑、路由动态变化。在以后的工作中,我们将研究基于融合贡献的分布式延时分配策略,由节点灵活、自主地决定延时时间,避免高能耗的全网广播和汇报操作,以适应大规模网络部署的情况。

## 参 考 文 献

- [1] Sun Limin, Li Jianzhong, Chen Yu, et al. Wireless Sensor Networks[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005 (in Chinese)

(孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005)

- [2] C Intanagonwivat, R Govindan, D Estrin. Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks[C]. In: Proc of the Int'l Conf on Mobile Computing and Networking (Mobi-Com). New York: ACM Press, 2000. 56-67
- [3] W Heinzelman, J Kulik, H Balakrishnan. Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks[C]. In: Proc of the Int'l Conf on Mobile Computing and Networking (MobiCom). New York: ACM Press, 1999. 174-185
- [4] U Roedig, A Barroso, C J Sreenan. Determination of aggregation points in wireless sensor networks[C]. The 30th Euromicro Conference (EUROMICRO), Rennes, France, 2004
- [5] Jae Young Choi, Sunghyun Choi, Wook Hyun Kwon, et al. Aggregation time control algorithm for time constrained data delivery in wireless sensor networks[C]. IEEE Vehicular Technology Conf on Melbourne, Australia, 2006
- [6] Bhaskar Krishnamachari, Deborah Estrin, Stephen Wicker. Modelling data-centric routing in wireless sensor networks[C]. IEEE Int'l Conf on Computer Communications, 2002
- [7] B Krishnamachari, D Estrin, S Wicker. The impact of data aggregation in wireless sensor networks[C]. The 22nd Int'l Conf on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW), Vienna, Austria, 2002



**Duan Bin**, born in 1984. Master candidate. His main research interests include wireless sensor networks.

段 斌, 1984 年生, 硕士研究生, 主要研究方向为无线传感器网络。



**Ke Xin**, born in 1980. Ph. D. candidate. His current research interests include QoS of wireless sensor networks.

柯 欣, 1980 年生, 博士研究生, 主要研究方向为无线传感器网络服务质量。



**Huang Fuwei**, born in 1975. Ph. D., assistant professor at the Institute of Software, the Chinese Academy of Sciences. His current research interests include wireless communication technology and Wireless

Sensor Networks.

皇甫伟, 1975 年生, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为无线通信技术和无线传感器网络。



**Zhou Xinyun**, born in 1979. Ph. D. Research assistant at the Institute of Software, the Chinese Academy of Sciences. His current research interests include wireless sensor networks and wireless broadband

access networks.

周新运, 1979 年生, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为无线传感器网络和无线宽带接入网络。



**Sun Limin**, born in 1966. Ph. D., professor at the Institute of Software, the Chinese Academy of Sciences. His current research interests include wireless sensor network and broad band access network.

孙利民, 1966 年生, 博士, 研究员, 主要研究方向为无线传感器网络和宽带综合接入网络。

## Research Background

Data aggregation technology is an effective measure to reduce the redundant energy-consumption in wireless sensor networks. And how to allocate aggregation time for nodes is an important problem in data collection network, which has an enormous influence on both the aggregation effectiveness and packet transmission delay. By introducing the concept of aggregate contribution, which is determined by the positions in route tree and the aggregation interaction between nodes, we propose a novel algorithm ACDA to centrally allocate aggregation time. Simulation results show that the ACDA achieved a higher performance in both aggregation gain and transmission real-time performance. Our research is supported by the National 973 Project (2006CB303007), the National 863 Project (2006AA01Z215 & 2006AA01Z218), the Natural Science Foundation of China (60673178 & 60434030), and the Knowledge Innovation Project of the Chinese Academy of Sciences.