

基于跨层的中高速传感器网络多元参数调度与 资源自适应分配算法

申建芳^{1,2} 程良伦¹

(广东工业大学自动化学院 广州 510006)¹ (广东工业大学计算机学院 广州 510006)²

摘要 针对中高速传感器网络中不同业务对 QoS(quality of service)的不同要求,跨层考虑物理层和数据链路层参数,提出了一种适合混合业务的多元参数调度算法和资源分配算法。该算法根据不同的业务动态调整时延补偿因子和吞吐量补偿因子两个参数,在满足实时业务 QoS 约束的前提下,以最大化系统吞吐量为目标建立了相应的优化模型,对于实时业务能满足时延较小的要求,对于非实时业务能满足吞吐量较大的要求。仿真结果表明,该调度算法可以灵活地在系统功率效率和用户服务质量满意度之间取得折衷,并保证不同类型业务用户间的公平性。

关键词 中高速传感器网络,跨层,调度算法,补偿因子

Scheduling and Resource Allocation Algorithm Based on Cross-layer in Middle and High Rate Sensor Networks

SHEN Jian-fang^{1,2} CHENG Liang-lun¹

(Faculty of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)¹

(Faculty of Computer, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)²

Abstract To efficiently support the diverse quality of service (QoS) requirements in middle and high rate sensor networks, a scheduling and resource allocation algorithm based on cross-layer optimization was proposed in this paper. By dynamically adjusting values of the two parameters, delay compensation factor and throughput compensation factor, a mathematical formulation was provided with the goal of maximizing throughput under real-time service QoS constraints to meet the requirements of smaller delay in real-time service and larger throughput in non real-time service. Simulations show that the scheme can achieve compromise between system efficiency and users QoS satisfaction flexibly and guarantee fairness among different user.

Keywords Middle and high rate sensor networks, Cross-layer, Scheduling algorithm, Compensation factor

1 引言

无线传感器网络(WSN)是当前的研究热点之一,被广泛应用于军事、工农业控制、生物医疗、环境监测等诸多领域。中高速传感器网络处理数据、语音、视频、网页浏览、文件传输和多媒体应用在内的多种业务并提供相应的 QoS 保障,要求传感器网络对不同的业务实现区分,以便对于实时业务能满足时延较小的要求,对于非实时业务能满足吞吐量较大的要求。因此,在无线信道上为不同用户的多种业务提供相应的 QoS 保障就成了中高速传感器网络面临的一个挑战^[1]。

中高速传感器网络传送信息量丰富的图像、音频、视频等多种数据,能量严重受限,无线通信网络中物理层的资源分配和 MAC 层调度问题已经受到了人们的广泛关注,而跨层设计方法则成为研究这一问题的重要方法。黄志杰等人研究了多媒体传感器网络 MAC 协议,通过事先建立一条从源节点到汇聚节点的时隙预留流路径的方法,有效减少了流媒体数据的端到端时延与时延抖动^[2]。张晓彤等提出了一种动态支持多业务整形的令牌桶算法,它可很好地控制数据的突发速

率^[3]。Zhang Qian 等研究了具有 QoS 保障的无线多跳跨层设计^[4]。然而在中高速传感器网络中能够保障 QoS 的多种业务混合传输必须同时考虑无线信道的时变特性和到达业务的排队状态这两个独立的随机过程。本文在现有研究的基础上,考虑了媒体接入控制(MAC)层的用户服务质量(QoS)要求、用户公平性、数据包队列状态信息以及物理层的信道状态信息(CSI)和物理层资源分配等因素^[5]。提出了一种适应于中高速传感器网络的基于跨层的多元参数调度算法,以满足不同业务的 QoS 要求。该算法根据用户等级和业务需求,动态调整“延时补偿因子 α ”和“吞吐量补偿因子 β ”,对于实时业务能满足时延较小的要求,对于非实时业务能满足吞吐量较大的要求。可以灵活地在系统吞吐量和各用户服务质量满意度及用户公平性之间取得折衷,以满足多用户混合业务的 QoS 要求。

2 系统模型

2.1 混合业务调度模型

混合业务跨层优化的多元参数调度模型的系统框图如图

到稿日期:2011-02-23 返修日期:2011-04-17 本文受国家自然科学基金项目(60673132),广东省重大科技专项项目(2009A080207008),广东工业大学青年基金项目(405085077)资助。

申建芳(1974-),女,博士生,讲师,主要研究领域为传感器网络、多媒体与网络,E-mail: tsysjf@gdut.edu.cn;程良伦(1965-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为 RFID 与传感器网络、智能与网络化系统。

1所示。每个用户可以包括多种类型的业务。系统带宽为 B , 处于活跃期的用户数为 K , 子载波数为 N , 每个子载波的带宽为 B/N 。假设系统可获得完备的信道的瞬时状态信息, 并通过无差错的反馈信道将该信息及时汇报给基站。假设 N 个子载波相等地划分成 n 子信道, 使得由子载波组成的子信道几乎为平衰落信道, 在每个子信道上可以采用自适应调制与编码(AMC)技术, 以有效利用频谱。系统时间以数据帧为单位进行划分, 同时每一帧又可细分为 S 段时隙, 假设每个子信道在每一帧内的信道增益保持不变, 在每一帧的开始, 基站根据用户反馈信息来估计链路中每个子信道的 CSI。根据系统二维的可分配资源(子信道、时隙)把共享信道划分成多个时频单元作为资源分配的最小单位, 即在频率上占用某个子信道, 在时间上占用一个时隙, 不同的时频单元可以通过 (n, s) 来标识, 其中 $(1 < n < N)$, $(1 < s < S)$ 分别代表子信道序号和数据帧内部的时序号, 这样一帧内总共有 $N \times S$ 块时频单元, 且每个时频单元只能被一个用户占用^[6]。在 MAC 层, 基站为每个用户分配独立的容量有限的数据队列, 队列的服务次序是先到先服务。多元参数自适应调度算法根据 MAC 层和物理层的不同参数更新用户队首分组时延, 再根据用户队首分组时延与该用户业务可以忍受的最大分组时延之间的关系, 自适应地为分组排序; 物理层根据调度算法提供排序结果、各用户的信道状态信息和用户缓存中的分组数量, 业务的 QoS 依次为分组分配子信道和相应时隙, 最后将每个用户发送的分组数量反馈给调度模块。

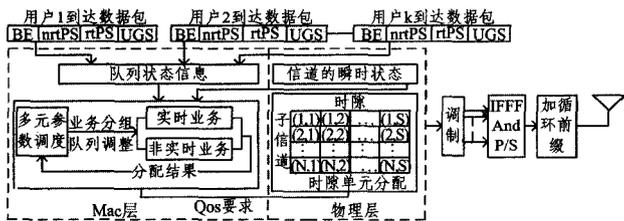


图1 混合业务系统调度模型

2.2 业务分类

在 IEEE802.16 标准中, 定义了 4 种不同的业务类型和 1 种扩展业务。

其中主要的 4 种业务分别为: 主动授予业务 (Unsolicited grant service, UGS)、实时轮询业务 (Real-time polling service, rtPS)、非实时轮询业务 (Non real-time polling service, nrtPS)、尽力传输业务 (Best Effort, BE)。表 1 为 IEEE 802.16 标准中定义的业务类型。

表 1 IEEE802.16 的业务类型

业务	基本特征	服务质量参数	应用举例
UGS	传输速率恒定、时延敏感	传输速率、时延	语音
rtPS	吞吐量、时延保证	误包率、最大时延	视频流、视频会议
nrtPS	吞吐量保证	误包率、最小速率	Web 浏览、FTP
BE	不提供任何保证	误包率	Email

本文的模型中, 把用户数据的业务类型综合考虑成两类: 实时 (Real-Time, RT) 业务和非实时 (NonReal-Time, NRT) 业务。实时业务主要包括会话类型业务和流媒体类型业务, 会话类实时业务 (例如, 视频电话) 较流媒体类型实时业务对延迟更为敏感。这些实时业务对时延敏感, 赋予较高优先级, 这里给每个实时业务的数据包规定了最大时延 (相对于最低速率)。非实时业务主要包括交互类业务和后台类型业务, 交互

类和后台类型的主要区别在于交互类型主要用于交互应用, 例如交互 Web 浏览; 而后台类型主要用于后台业务, 如后台 Email 下载或后台文件下载。交互应用的响应率是交互业务和后台业务的主要区分^[7]。在调度方式上, 非实时业务一般对时延不敏感, 优先级低, 但不论 RT 业务还是 NRT 业务都有一个可以忍受的最低限度的数据丢失 (错误) 率, 调度算法在保证 RT 业务 QoS 的同时要尽量提高 NRT 业务的数据流量, 降低时延和丢包率, 同时兼顾用户的公平性。

3 多元参数跨层调度与资源分配算法

本文设计的基于跨层调度与资源分配算法包括在 MAC 层的数据包调度策略和在物理层的动态自适应无线资源分配算法, 算法最终优化的目标是: (1) 保证用户的 QoS 要求, 实时用户主要包括数据传输速率和传输时延、非实时用户的吞吐量。(2) 保证各种用户业务之间的公平性。(3) 最大化频谱利用率。

3.1 Mac 层多元参数调度

对于实时性业务而言, 服务质量满意程度常以时延来衡量。当分组时延超过了该分组可以忍受的最大等待时延时, 该分组对于接收端而言已经不再具有被传输的意义。因此, 如何减小分组时延, 以及如何减小分组时延过长带来的丢包现象, 是实时业务的调度算法需要考虑的问题。如果可以保证用户队列中各分组的等待时延都小于其可以忍受的最大分组时延, 那么用户的丢包率就可以被最小化。此外, 减小平均分组等待时延, 可以提高用户对系统的满意度。有限的物理资源导致了多用户系统无法为所有的用户同时提供最优的服务, 因此优先保证对时延要求高的部分用户的服务是必要的。本文首先通过设立时延门限 $D_k[j]$ 将用户分为两类, 一类是紧急用户, 一类是非紧急用户。

定义 $D_k[j]$ 为第 j 个 OFDM 符号开始时用户 k 的队列中第一个数据报文的等待时延, D_k^{\max} 为数据报文的最大等待时延。当且仅当用户 k 的队首的分组时延满足条件 $D_k[j] \geq \lfloor \alpha_k (D_k^{\max} - T_f) \rfloor$ 时, 该用户才被称作紧急用户, 除紧急用户外的其他用户都被称作非紧急用户。其中, $\lfloor X \rfloor$ 表示下取整; T_f 是当前帧的剩余发送时延; D_k^{\max} 是任务 k 的分组可以忍受的最大时延; α_k 是延时补偿因子, $0 \leq \alpha_k \leq 1$, 该因子用于调节不同类型业务的时延门限值。 α_k 越小, 时延补偿力度越大, 用户 k 被称作紧急用户需要满足的时延越小, 越容易插入到等待队列较前的位置。 α_k 越大, 时延补偿力度越小, 越容易插入到等待队列较后的位置。 $\alpha_k = 1 - T_f / D_k^{\max}$, 对于业务类型相同的用户而言, 紧急用户相对于非紧急用户已经等待了更多的时间, 因此, 调度器优先调度紧急用户的分组。随着时间的推移, “紧急用户”和“非紧急用户”可以相互转化, 使得分级方式具有动态性, 这也保证了多用户间的公平性。任意一个用户队列中的分组又被分为两部分: 补偿分组, 其具有较高的优先级; 非补偿分组, 其具有较低的优先级。为了保证用户间的公平性, 基站向紧急用户 k 发送的补偿分组的数量满足条件: $PS_k[j] = \max(\lceil \beta * Q_k[j] \rceil, 1)$, 其中, $Q_k[j]$ 是在第 i 帧的起始时刻用户 k 队列中剩余的分组总数; β 是吞吐量补偿因子, $0 \leq \beta \leq 1$, β 可根据所有用户队列中实时业务与非实时业务的动态比例来确定, 反映了基站对紧急用户的补偿力度。 β 越大, 紧急用户 k 队列中补偿分组所占的比例越大。

考虑到中高速传感器网络必须满足混合业务的传输,且传输过程要有一定的 QoS 保证,基站向非紧急用户补偿较少的分组,分组的数量满足条件: $PS_k[j] = \min\{\lceil \beta * Q_k[j] \rceil, N\}$,其中, N 是非紧急用户队列中实时业务的分组数^[8]。

确定分组间优先级的规则如下。

- (1) 紧急用户中补偿分组的优先级高于非补偿分组,是所有分组中优先级最高的一级,优先进入排队队列;
- (2) 紧急用户队列中的非补偿分组与非紧急用户队列中的补偿分组具有相同的等级,同为第二级;
- (3) 非紧急用户的非补偿分组是等级最低的第三级分组,最后进入排队队列;
- (4) 不同用户之间和同一个用户队列内等级相同的分组,按照先来先服务的顺序排队;
- (5) 为减少运算复杂度,每个分组最多只补偿一次。

调度器框架图如图 2 所示。

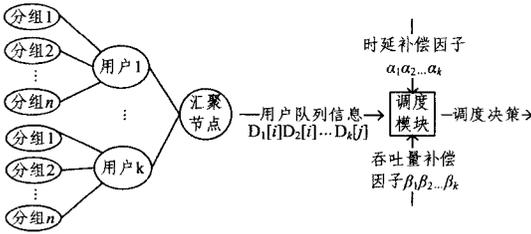


图 2 调度器框架图

基于该规则,调度算法可以得到一个分组排序队列,该队列的标签记录了相应的用户标识符和分组标识符。

3.2 物理层自适应分配

MAC 层调度的结果是确定数据包发送的优先级和排队顺序,真正的资源分配是在系统的物理层,系统根据每个用户的信道状况和排队情况来动态地分配子信道和时隙。资源分配的目标是在满足基站发射功率和各用户多种业务 QoS 要求的前提下,利用用户的队列状态信息(QSI)和信道状态信息(CSI)进行合理的调度和信道分配,实现系统吞吐量最大化。设子载波数为 N ,用户 k 在子载波 n 上的信道用矩阵 H_k^n 表示,子载波 n 上的信道矩阵和预编码矩阵为 $H_n = [H_{1,n}^T, H_{2,n}^T, \dots, H_{K,n}^T]$ 和 $W_n = [W_{1,n}, W_{2,n}, \dots, W_{K,n}]$,其中 K 表示子载波 n 上调度到的用户数,子载波 n 上的接收信号可以表示为 $X_n = H_n W_n d_n + Z_n$,其中 d_n 和 Z_n 分别为子载波上的发射信号和高斯白噪声,则子载波 n 上调度到的用户 k 的接收信号为 $X_{k,n} = H_{k,n} \sum_{l=1}^K W_{l,n} d_{l,n} + Z_{k,n} = H_{k,n} W_{k,n} d_{k,n} + H_{k,n} \tilde{W}_{k,n} \tilde{d}_{k,n} + Z_{k,n}$,其中 $W_{l,n}, d_{l,n}, Z_{k,n}$ 表示用户 k 在子载波 n 上的预编码矩阵、发射信号和高斯白噪声, $\tilde{W}_{k,n}$ 和 $\tilde{d}_{k,n}$ 分别为 $\tilde{W}_{k,n} = [W_{1,n}, \dots, W_{k-1,n}, W_{k+1,n}, \dots, W_{K,n}]$ 和 $\tilde{d}_{k,n} = [d_{1,n}, \dots, d_{k-1,n}, d_{k+1,n}, \dots, d_{K,n}]^T$ 。

为了消除用户之间的同信道干扰,迫零准则的预编码方案要求对任意 $k \neq l$ 满足 $H_{k,n} = W_{l,n}$,即 $W_{l,n}$ 落在 $H_{k,n}$ 的零空间内,其中, $H_{k,n} = [H_{k,n}^1, \dots, H_{k,n}^{l-1}, H_{k,n}^{l+1}, \dots, H_{k,n}^N]$,对 $H_{k,n}$ 进行奇异值按降序排列的 SVD 分解可得: $H_{k,n} = U_{k,n} \Sigma_{k,n} [V_{k,n}^{(1)}, V_{k,n}^{(2)}]$,其中 $(\cdot)^H$ 表示矩阵的共轭转置, $V_{k,n}^{(1)}$ 和 $V_{k,n}^{(2)}$ 分别为前 $J_{k,n}$ 个和后 $N_T - J_{k,n}$ 个右奇异向量组成的矩阵, $J_{k,n} = \text{rank}(H_{k,n})$, $V_{k,n}^{(2)}$ 形成 $H_{k,n}$ 零空间的一个标准正交基,可以作为用户 k 在子载波 n 上的预编码矩阵,即可令 $W_{k,n} = V_{k,n}^{(2)}$ 。

通过上述处理,多用户多业务系统就简化为 K 个并行无干扰的单用户 MIMO 信道,其中,用户 k 在子载波 n 上的等效信道为 $H'_{k,n} = H_{k,n} V_{k,n}^{(2)}$,子载波 n 上的信道可以表示为 $H'_{k,n} = \begin{bmatrix} H_{1,n} V_{k,n}^{(2)} & \dots & 0 \\ \vdots & & \\ 0 & \dots & H_{k,n} V_{k,n}^{(2)} \end{bmatrix}$,则子载波 n 上用户 k 的第 l 个空间子信道的

信噪比(SNR)为 $r_{k,n,l} = P_{k,n,l} / (\sum_{k,n,l} \sigma^2) / (\sigma_{k,n,l}^2)^2$,采用多进制正交幅度调制 MQAM 调制,用户 k 在子载波 n 的第 l 个空间子信道上发射的比特数为 $b_{k,n,l} = \log_2 \left[1 - \frac{1.5 r_{k,n,l}}{\ln(5 BER_k)} \right]$,其中 BER_k 为用户 k 的误比特率。基于上述分析,多用户多业务 OFDMA/SDMA 系统中优化约束问题描述如下^[9]: $R = \max$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^{L_{k,n}} b_{k,n,l}; \text{约束条件:}$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^{L_{k,n}} b_{k,n,l} \alpha_{k,n} \leq P_{\max} \quad (1)$$

$$P_{k,n,l} \geq 0 \quad \forall k, n, l \quad (2)$$

$$BER_k \leq BER_{\text{target}} \quad (3)$$

式(1)表示所有空间子信道上的发射功率之和小于或等于基站端的最大可用发射功率 P ;式(2)表示每个空间子信道上的发射功率都是非负的;式(3)表示每个用户的实际误比特率小于或等于其目标误比特率。

分组调度算法按一定调度准则将等待传输的分组以一定顺序送入链路层。资源分配算法则根据各用户的信道状况及分组调度顺序,选择恰当的无线资源完成传输。资源分配的步骤如下。

第 1 步 首先发送第一队列数据,保证紧急用户的补偿分组有足够的无线资源来发送。在所有紧急数据包中,按照 MAC 层调度模块决定的优先级来分配时频单元,直到所分的时频单元达到该数据包的时延要求,如果该数据包没有发送出去就已经超过其最大时延,就将该数据包丢弃并且停止分配时隙,如此循环直到紧急用户的补偿分组分得的时频单元总数达到发送紧急数据包的要求。

第 2 步 发送第二队列数据,按照时频单元分给对应信道质量最好的用户的原则,每次最多分配 1 个时频单元给用户,如果所分的时频单元还没有达到 QoS 要求,则待所有数据包第 1 次分完之后再继续按照优先级由高到低的顺序进行分配,仍然遵循每次分配 1 个时频单元的原则,直至该组数据全部发送出去。

第 3 步 发送第三队列数据,按照 MAC 层调度模块决定的优先级和先来先服务的原则分配时频单元。

第 4 步 判断系统是否还有剩余的时频单元,如果没有,分配完毕,否则,判断是否满足基站发射总功率的约束,如果不满足,分配完毕,如果满足,转第 4 步。

第 5 步 判断是否所有数据分组都可以被发送出去,如果是,分配完毕,否则,返回第 1 步。

4 参数的选取与分析

时延补偿因子反映了基站对实时用户提供补偿的实时性。 α_k 越小,对延时用户的补偿越及时,越不利于利用时域上的多用户分集增益。吞吐量补偿因子反映了频域上基站对紧急用户提供补偿的力度。 β_k 越大,对紧急用户的补偿力度越大,越有利于利用频域上的多用户分集增益。当系统中各

种类型的业务的时延补偿因子和吞吐量补偿因子被设置成相等的数值时,该算法可以保证不同类型业务用户之间接收到的服务质量的公平性(从该业务已经接收到的服务质量与其可以忍受的最差服务质量的比值的角度考虑)。通过将这两个参数动态设置成不同的数值,可以在用户等待时延、吞吐量、公平性和系统功率效率之间得到不同的折衷,从而满足不同的系统设计目标。下面是该资源分配算法的一些特例: $\alpha_k = 0, \forall_k$ 所有的用户都是紧急用户,没有为等待时间较长的用户提供较高的优先级; $\alpha_k = 1, \forall_k$ 如果用户的队首分组以及和该分组同时到达的所有分组在当前帧没有被发送出去,它们就会被丢弃,该情况被称作为最急迫情况; $\beta_k = 0, \forall_k$ 为紧急用户提供最少补偿,补偿力度与每个紧急用户的队列状态无关; $\beta_k = 1, \forall_k$ 为用户提供最多补偿,补偿力度是用户队列中等待发送的分组总数; $\alpha_k = 0, \beta_k = 1, \forall_k$ 只考虑用户间的优先级而忽略同一个用户队列中分组间的优先级,是一种单载波系统的调度算法在多载波系统中最直接的应用; $\alpha_k = 1, \beta_k = 0, \forall_k$ 该算法为处于最急迫情况的用户提供最少的补偿,一方面可以优先发送多个用户的队首分组,另一方面增加了与队首分组同时到达的分组被丢弃的概率。

5 仿真结果与数据分析

在仿真中,采用的 OFDMA 系统以 8 个子载波和 12 个连续的 OFDM 符号为最小的资源单位进行资源分配,系统总带宽为 20MHz。仿真区域采用六边形拓扑,用户均匀分布在内部。定义两类业务模型,一类是高目标速率低时延要求的业务,对应实际系统的实时业务;一类是低目标速率时延要求相对宽松的业务,对应于实际系统中的非实时业务。速率要求和时延要求的取值见表 2。仿真中两种业务的用户数相等。

表 2 实时业务与非实时业务的目标速率与时延要求

业务分类	速率(Kbit * s ⁻¹)	最大时延(ms)
实时业务	512	10
非实时业务	128	50

为了评估系统的性能,仿真中将本文算法与文献[10]中的 ARA 算法在系统吞吐量、公平性方面进行了比较,图 3 显示了两类业务的平均时延情况比较。在低信噪比时,由于系统容量不足,两种业务的时延都超出了时延边界,由于实时业务的优先级高于非实时业务,因此时延小得多;在高信噪比时,实时业务的时延一直保持在时延边界附近,在保证业务 QoS 的同时,满足非实时业务较高吞吐量的要求;而由于非实时业务采用尽力而为的方式,信噪比较好时时延将会低于时延边界。

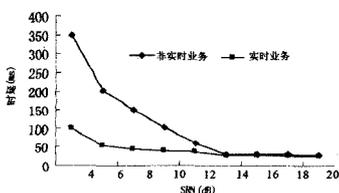


图 3 实时业务与非实时业务的时延比较

图 4 显示出了两种算法在不同用户数下的系统吞吐量的比较。系统的吞吐量都随着用户数的增加而增长,这来源于多用户分集增益和空间复用增益。但是,当系统中的用户数大于 60 后,两者的增长都变缓,因为多用户分集增益随着用

户数的增加,增幅将逐渐变缓。

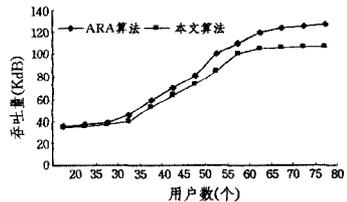


图 4 ARA 算法与本文算法吞吐量比较

采用 ARA 算法的系统吞吐量比较高,但是两者的差距不是很大。ARA 算法的目标就是最大化系统的吞吐量,它可以看作是系统吞吐量的一个上界,而本文算法综合考虑信道条件和不同用户对服务质量的不同需求,尤其是时延的要求,以牺牲小部分系统性能为代价换来了实时用户对服务质量的满意度。

在多用户系统中,除了满足各种用户 QoS,提高资源利用率外,还需要考虑用户间的公平性。

本文引入公平性指数(fairness index)FI 作为考察系统用户公平性的指标^[11],公平指数越接近 1,说明用户获得的公平性越好。定义基于速率的公平性指数 FI, $FI = (\sum_{k=1}^K R_k)^2 / K \sum_{k=1}^K (R_k)^2$ 表示调度时刻用户 k 的瞬时数据速率,归一化常量表示用户 k 在系统中占据的通信资源比重,通常由运营商来决定,并且有 $\sum_{k=1}^K \xi_k = 1$ 。如果要求系统中的所有用户绝对公平,则有 $\xi_k = 1/K$ 。图 5 显示了两类调度方案的公平性指数曲线随系统用户数目变化的情况。可以看到随着系统用户数目的逐渐增加,本文设计的调度算法与 ARA 资源分配方案的 FI 不断上升,与 ARA 的调度方案相比,系统能够获得更好的用户公平性。通过仿真可以看到,ARA 方案将资源优先分配给信道质量较好的用户,虽然有较高的系统吞吐量,却是以牺牲用户公平性为代价的。本文设计的调度算法与资源分配方案在保证混合用户 QoS 保障的同时,具有较高的吞吐量,同时有效保证了系统用户的公平性。

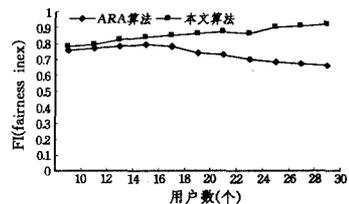


图 5 ARA 算法与本文算法公平性比较

结束语 本文设计的多元参数调度与资源分配,适用于中高传感器网络的多用户混合业务。通过动态调整时延补偿因子和吞吐量补偿因子,可以达到不同的优化目标,或多目标间的折衷。此外,该调度算法既可以在单载波单一类型业务中使用,同时也适用于具有实时业务、具有非实时业务或具有混合业务的多载波系统。仿真结果表明,对于实时业务,当时延补偿因子和吞吐量补偿因子的数值都比较小时,可以得到较小的平均分组延时。对于非实时业务或时延要求不很严格的业务,较大的吞吐量补偿因子可以在兼顾用户公平的基础上保证较低的丢包率和较高的吞吐量。最后,跨层设计与联合优化是解决中高速传感器网络资源受限的有效途径,基于

(下转第 73 页)

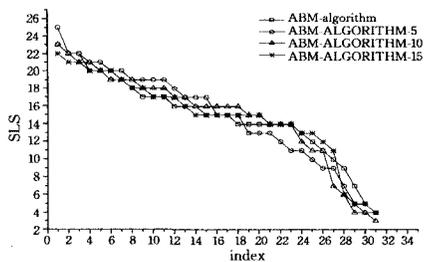


图8 属性改变前后 ABM 算法拉普拉斯谱对比

结束语 本文针对 QQ 这种 IM 工具下的用户交友情况进行了详细的研究。考察实际网络中的拓扑参数,从 QQ 用户的年龄和性别属性角度出发,提出了基于属性的拓扑构造算法并从网络测度和交友取向角度与实际网络及 BA 算法生成网络进行对比。得出的结论是:

1)在 IM 系统中,用户间好友关系的建立很大程度上依赖于用户的属性信息。ABM 算法能够反映真实好友关系网络的拓扑结构,同时也能够反映节点之间的内在属性关联关系。已有的经典模型如 BA 模型没有将除了度以外的节点属性考虑进去,从而在用户交友取向方面不及 ABM 算法更接近实际好友网络。

2)ABM 算法生成需要统计的实际网络参数,并且要求生成网络拓扑时采用的节点集合要和实际节点集合相同。这些要求实际数据可靠和精确。

3)容错性实验表明,ABM 算法对于节点属性具有较强的容错性,对于节点属性的不真实,算法在一定程度上可以保证其正确性。

实验中采用了 31 个 QQ 用户的信息,包括 QQ 用户信息及其全部好友信息。其从数量和地域上均具有局限性,进一步的工作应该在更加广泛的数据集合上进行实验,考虑其它即时通讯系统所构造的网络,从节点属性这个角度提出在拓扑层面和实际网络相似,在属性连接方面也 and 实际网络更相近的生成算法。

(上接第 48 页)

跨层的混合 MAC 协议与路由算法是需要进一步研究的问题。

参考文献

[1] 谭力,苏钢,朱光喜,等. MIMO 系统中的自适应比例公平调度算法研究[J]. 计算机科学,2010,37(3):67-69

[2] 黄志杰,李峰,高强. 无线多媒体传感器网络实时 MAC 协议[J]. 计算机科学,2010,37(11):81-85

[3] 张晓彤,李培娅,王沁,等. 接入网 MAC 层 QoS 系统的多业务令牌桶流量整形算法[J]. 计算机科学,2009,36(1):68-70

[4] Zhang Qian, Zhang Ya-qin. Cross-layer design for Qos support in multi-hop wireless networks [J]. Proceedings of the IEEE, 2008,96(1):64-76

[5] 马华东,陶丹. 多媒体传感器网络及其研究进展[J]. 软件学报,

参考文献

[1] Barabási A L, Albert R. Emergence of scaling in random networks[J]. Science,1999,286(5439):509-512

[2] Watts D J, Strogatz S H. Collective dynamics of small world' networks[J]. Nature, 1988,393(6684):440-442

[3] Newman M E J, Watts D J. Renormalization group analysis of the small-world network model[J]. Phy. Lett. A, 1999,263:341-346

[4] Smith R D. Instant messaging as a scale-free network[J]. e-print cond-mat/0206378, 2002

[5] Morse C D, Wang H. The Structure of an Instant Messenger Network and its Vulnerability to Malicious Codes[C]//Proc. of ACM SIGCOMM. 2005

[6] Yao Yuan-yuan. Internet topology study and its application in IM network modeling[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2006

[7] Leskovec J, Horvitz E. Planetary-Scale Views on a Large Instant-Messaging Network[C]//Proc. of the 17th International Conference on World Wide Web. New York, USA: ACM Press, 2008

[8] Yan Qiang, Huang Xiao-yan. User Behavior and IM Topology Analysis[J]. Journal of Networks, 2008,3(7)

[9] 李超,赵海,张昕,等. 基于多点测量的网络节点度分布研究[J]. 计算机科学,2008,35(10):98-99

[10] 汪小帆,李翔,陈关荣. 复杂网络理论及其应用[M]. 北京:清华大学出版社,2006

[11] Mahadevan P, Krioukov D, Fomenkov M, et al. Lessons from three views of the Internet topology[J]. arXiv:cs. NI/0508033, 2005

[12] 王健,刘衍珩,梅芳,等. 基于网络拥塞的 Internet 级联故障建模[J]. 计算机研究与发展,2010,47(5):772-779

[13] Zhou S, Mondragon R J. The rich-club phenomenon in the Internet topology[J]. IEEE Communication Letters, 2004,8(3):180-182

2006,17(9):2013-2028

[6] Kwon H, Lee W I, Lee B G. Low-over resource allocation with load balancing in multi-cell OFDMA systems[C]//Proceedings of VTC 2005 Spring. IEEE Press, 2005:3063-3067

[7] 白铂,曹志刚,陈巍. IEEE 802.16 网络中保障 QoS 的多用户业务调度算法[J]. 通信学报,2009,30(11):37-47

[8] 侯华. 跨层无线资源管理算法研究[D]. 合肥:中国科技大学, 2008

[9] 仲崇显,杨绿溪. 下行多用户 MIMO-OFDMA/SDMA 系统动态资源分配[J]. 通信学报,2008,30(12):2972-2975

[10] Koutsopoulos I, Tasiulas L. Adaptive resource allocation in SDMA based wireless broadband networks with OFDM signaling [C]//INFOCOM 2002. New York: IEEE Pres, 2002:1376-1385

[11] 陈婷,李建东,钟绍波. 一种面向公平保证 QoS 的 WiMAX 二级调度方案[J]. 计算机研究与发展,2009,46(07):1094-1101