

# LTE 中 MBMS 服务 DSI 设计

吴伟民<sup>1</sup> 江小威<sup>1</sup> 朱光喜<sup>1</sup> 高有军<sup>2</sup>

(华中科技大学武汉光电国家实验室 武汉 430074)<sup>1</sup> (中国移动通信研究院 北京 100053)<sup>2</sup>

**摘 要** 在 LTE 系统中,动态调度对提高 MBMS 业务资源利用效率具有重要的理论与实际意义,而动态调度信息的设计亦是其中重要的一环。在详细讨论现有 DSI 设计方案存在的问题及其对 MBMS 业务影响的基础上,严格参照国际公认的 3GPP 标准业务模型与 LTE 协议栈,搭建 OPNET 仿真平台对问题进行仿真研究,以期压缩 DSI 信息比特数,达到减小 MTCH 信道指示信息所必需的控制信息开销的目的。对相关问题的仿真结果表明,所提出的以差分偏移表示 DSI 的设计方案可切实有效地节省 DSI 比特开销,对推动 LTE 的发展具有重要价值。

**关键词** 多媒体广播多播,动态调度信息,多播组播单频网

中图法分类号 TN929.5 文献标识码 A

## Design of DSI for LTE MBMS Service

WU Wei-min<sup>1</sup> JIANG Xiao-wei<sup>1</sup> ZHU Guang-xi<sup>1</sup> GAO You-jun<sup>2</sup>

(Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)<sup>1</sup>

(China Mobile Research Institute(CMRI), Beijing 100053, China)<sup>2</sup>

**Abstract** Dynamic scheduling has important theoretical and practical significance for improving the resource utilization ratio of MBMS(multimedia broadcast/multicast service), and the design of dynamic scheduling information(DSI) is an important part of it. The paper discussed some problems existing in current DSI design and their impact on user's reception of MBMS traffic, and built an OPNET simulation platform which is strictly based on the 3GPP standard traffic models and LTE protocol stack to study some of these problems. According to the simulation results, we presented an more practical and bit-saving DSI design proposal using differential sub-frame offset to denote the dynamic scheduling information.

**Keywords** MBMS, DSI, Multimedia broadcast single frequency network

LTE 作为未来移动通信发展的重要方向,已受到广泛的关注。E-MBMS 作为 LTE 发展的重要组成部分,对系统性能整体提升具有极其重要的价值。其中一项重要指标为:在市区或郊区环境下,小区边缘频谱效率达到 1 bps/Hz(这相当于在 5M 带宽同时支持至少 16 个 300kbps 速率的移动电视频道)。为达到该目标,目前研究侧重两个方面:①利用 LTE OFDM 空中接口的新特性,通过单频网的方式发送 MBMS 业务,以提高信干噪比 SINR;②通过动态调度 MBMS 业务,提高无线资源频谱效率。对于动态调度,必然需要发送动态调度信息(DSI)。然而多播业务却不像单播业务那样拥有与数据信道相配的控制信道,因此 MBMS 业务的 DSI 必须通过与 MBMS 数据复用,通过物理层多播信道 PMCH 传输,这可以通过将 DSI 放在一种新型 MAC 控制元素中来实现。

DSI 结构的设计应保证其占用尽可能少的比特,来达到减小控制信息开销、提升传输效率的目的。本文将具体地分析相关信息的必要性及其影响,在保证不影响用户接收的前提下,尽可能地删除冗余信息,压缩 DSI 所占比特。本文首先

介绍 LTE 的 E-MBMS 相关内容,然后分析当前的一些 DSI 设计方案中存在的问题,并提出一种更加合理的设计方案,最后通过仿真验证方案的可行性。

## 1 LTE E-MBMS 介绍

在 LTE 中,MBMS 有两种传输模式:①单小区广播模式;②多媒体广播单频网(MBSFN, Multimedia Broadcast Single Frequency Network)模式。与前者相比, MBSFN 是 LTE 的一个新增特性,有望提供与基于 DVB-H 的电视广播相媲美的移动电视业务。在 MBSFN 模式中,一个 MBSFN 区域的所有基站同时使用相同的频谱资源来发送 MBMS 数据;由于 OFDM 时频域与循环前缀(CP)的固有特性,来自不同基站的 MBMS 数据在接收端不会产生符号间干扰(ISI)。接收端对来自多个基站的时域信号合并处理,经过相应时频转换后,可获得很大的空间分集增益。通常,多小区传输时延会远大于单小区传输时延,OFDM 需使用  $17\mu\text{s}$  的扩展循环前缀长度,而在 MBSFN 区域达到 10km 时,甚至需使用  $33\mu\text{s}$  的循

到稿日期:2010-03-21 返修日期:2010-06-29 本文受国家科技重大专项(2008ZX03003-004, 2009ZX03002-009), 国家科技支撑计划(2008 BAH30B09), 国家自然科学基金项目(60802009), 国家“863”项目(2008AA01Z204), 中移动合作项目:LTE-R9 和 LTE-Advanced 高层新技术评估和仿真(874611R091201500)资助。

吴伟民 讲师,主要研究方向为通信协议仿真及实现等,E-mail:wuwm@hust.edu.cn;江小威 硕士生,主要研究方向为 LTE 协议设计及仿真等;朱光喜 教授,博士生导师,主要研究方向为宽带多媒体通信等;高有军 博士,主要研究方向为 LTE 协议等。

环前缀长度<sup>[1]</sup>。

为了协调多小区间的同步传输, LTE 引入一种新的实体: 多小区多播协调实体 (MCE)<sup>[2]</sup>。MCE 通过对 MBSFN 区域内的所有基站进行相同 RLC/MAC 配置、相同时频资源分配来保证所有基站间 MBMS 服务的同步传输。MCE 对 MBMS 业务按一定周期 (320ms, 640ms 等) 进行调度, 调度顺序及调制编码方式 (MCS) 的选取取决于业务的 QoS 要求。同时, MCE 也要根据 MBMS 的 QoS 要求来决定当前调度周期内的多播信道 (MCH) 子帧分配模式 (MSAP, MCH Sub-frame Allocation Pattern), 以指示当前调度周期内可调度的 MBSFN 子帧。考虑到不同 MBSFN 区域信道响应的差异, 不同的 MBSFN 区域的 MBMS 业务不能复用在同一子帧, 但仍然可通过使用不同的 MSAP 方式实现复用。

LTE 中用于 MBMS 传输的逻辑信道包括多播传输信道 (MTCH) 及多播控制信道 (MCCH)。MTCH 用于传输 MBMS 业务, 不同的 MTCH 传输不同的 MBMS 业务。MCCHs 则用于传输与 MTCHs 上业务相对应的控制信息, 如 MSAP 信息、服务列表。对于单小区模式, MTCHs 及 MCCHs 被映射到同一下行共享信道 (DL-SCH); 而对于 MBSFN 模式, MTCHs 及 MCCHs 则被映射到同一传输信道 (MCH)。在同一 MBSFN 区域内, 具有相同的误块率 (BLER) 及 QoS 要求的 MTCHs, 可以统分复用在一个 MCH 上。统分复用能够获得很大的统分复用增益, 已被广泛应用于各种网络 (ISDN, ATM 等) 中<sup>[3,4]</sup>。

用户通过读取 MCCH, 可以获得当前已启动的 MBMS 服务及其所对应的 MSAP 时段。如果用户感兴趣的 MBMS 服务已启动, 在该服务所位于的 MSAP 时段到来时, 用户读取 MCE 对该 MSAP 期间的动态调度信息 (DSI), 即可获得该 MBMS 服务被分配的子帧信息。DSI 信息具有最高调度优先级, 最先发送, MCCH 次之, MTCHs 最后调度<sup>[2]</sup>。图 1 为 MCE 对一个 MSAP 内的 MBMS 业务动态调度的例子<sup>[5]</sup>。

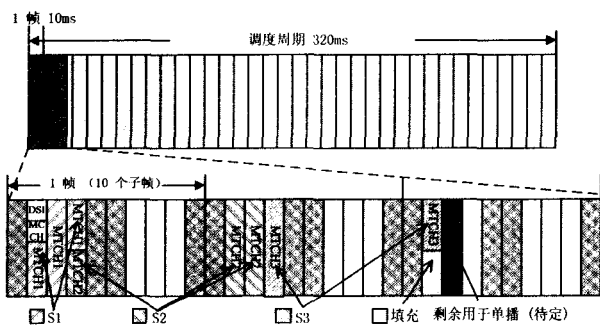


图 1 MBMS 动态调度示例

图 1 中, 系统广播的 MBSFN 子帧分配消息为: 每帧中 #0, #4, #5, #9 子帧不能用于 MBSFN 传输; 每帧的 #1, #2, #3 子帧为 MBSFN 子帧, 前 10 帧可用于 MBSFN。则在 320ms 调度周期内可供 MSAP 使用的子帧数为 30。MSAP 子帧占用模式为从第一个帧开始连续占用。S1, S2, S3 为一个统分复用的 3 个 MBMS 服务, 构成一个 MBMS 服务集。该服务集仅占用 MSAP 中的前 7 个子帧, 后续子帧则可用于单播。

## 2 DSI 设计

### 2.1 DSI 设计方案

目前 DSI 设计有如下几种候选方案。

(1) 指示每个 MTCH 的起始子帧: 各个 MTCH 的结束位置可以通过其后 MTCH 的起始位置进行粗略判断, 但是会有一个子帧的偏差。以图 1 为例, MTCH2 上的 S2 业务占据 MSAP 的第 #3, #4, #5 号子帧, MTCH3 上的 S3 业务从 MSAP 中的 #6 号子帧开始, 那么 DSI 信息中 MTCH2 与 MTCH3 中的起始子帧指示则为 3 和 6。然而用户通过读取该 DSI 信息却无法判断 S2 业务是否持续到第 6 子帧, 因此不得不再接收 #6 子帧来进行判断, 从而造成一子帧的偏差。另外, 对于最后一个 MTCH (图中为 MTCH3), 用户在接收完 MTCH3 的最后一个子帧后, 还无法辨别当前 MTCH 是否接收完毕, 故仍需持续接收几个子帧, 直到 MTCH3 被译码为止 (当识别了填充部分或非 MTCH 部分的逻辑信道标识 (LCID) 时, 用户即可知道 MTCH3 已接收完毕)。

(2) 指示每个 MTCH 的结束子帧<sup>[5]</sup>: 与第 1 种方案类似, 用户可以从各个 MTCH 的结束子帧位置粗略地得到相应的起始子帧位置。同样地, 如果 MTCH(m) 的结束子帧为 n, 用户无法判断 MTCH(m+1) 是从第 n 子帧还是第 n+1 子帧开始。而对于第一个 MTCH 的起始位置, 则不会出现方案 1 中无法确知情况。因为根据传输顺序 DSI > MCCH > MTCHs, 用户可以很容易地知道第一个 MTCH 的起始位置。

(3) 指示每个 MTCH 的起始子帧及持续时间<sup>[6]</sup>: 很明显, 该方案可以避免出现方案 1 和 2 中的问题, 然而要比前两种方案消耗更多的比特。

前两种方案与第 3 种方案的根本区别在于第 3 种方案用大量额外比特来避免前两种方案的子帧偏差问题。但如果这种偏差发生概率很低, 则功耗损失可以忽略, 方案 3 的做法就显得得不偿失。实际上, 出现图 1 中的 MTCH2 业务结束于第 5 个 MBSFN 子帧而 MTCH3 业务却开始于第 6 个 MBSFN 子帧的根本原因是: MCE 在对 MTCH2 调度完毕后, 当前子帧剩余的比特数已不足一个 MAC/RLC 头部大小, 故不能继续给 MTCH3 分配资源, 用公式表示即为

$$R_{left} \leq SH_{MAC} + H_{RLC} \quad (1)$$

式中,  $R_{left}$  为在某一 MTCH 结束子帧, MCE 在对该 MTCH 资源分配后该子帧所剩的比特数,  $SH_{MAC}$  为 MAC 层 PDU 头部中一个子帧头部大小,  $H_{RLC}$  为 RLC 层一个 UM PDU 头部大小。

对带宽为 BW 的系统, 设 MCE 动态调度选取的 MCS 为  $x$  (对应的频谱利用率为  $\eta$ ), 当前调度 MSAP 中第  $M$  个 MBSFN 子帧, 为第  $N$  ( $N \leq Q$ ,  $Q$  为 MTCH 的总数目) 个 MTCH 分配资源, 设第  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) 个 MTCH 上的 MBMS 业务在此 MSAP 期间到达的包个数为  $K_i$ , 大小分别为  $p_i(j)$ , ( $j = 1, 2, \dots, K_i$ )。MAC 子帧头部与 RLC 头部大小之和为常数  $C$  ( $C$  的取值在 3~5 字节), 则式 (1) 可表示为

$$0 \leq Bw \cdot \eta \cdot M - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{K_i} p_i(j) \leq C \quad (2)$$

式中, 第一项  $Bw \cdot \eta \cdot M$  表示当前所分配的总资源, 第二项  $\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{K_i} p_i(j)$  表示当前已分配资源的 MBMS 业务的总大小。下面我们将从这两项取值变化的角度来分析它们对式 (2) 成立的影响。对于第一项, 根据 MCS 不同等级对应比特数目变化及 LTE 带宽种类, 不难发现其取值变化颗粒度  $g_1$  满足:

$$g_1 = Bw \cdot \Delta\eta \gg C \quad (3)$$

式中,  $\Delta\eta$  为 MCS 变化引起的最小频谱利用率变化, 为一定

值,故  $g_1$  为定值。

第二项取值变化颗粒度  $g_2$  为一个 MTCH 在一个调度周期到达的业务量大小。如果该业务量不为 0,则很明显  $g_2$  也应满足

$$g_2 = \sum_{j=1}^{K_1} p_i(j) \gg C \quad (4)$$

根据业务类型不同,  $g_2$  可能为定值,也可能服从一定分布。

那么式(2)可以表示为

$$0 \leq \Delta = mg_1 - ng_2 \leq C \quad (5)$$

式中,  $\Delta$  表示 MCE 在为各个 MTCH 进行资源分配产生的碎片大小,  $m \in \{1, 2, \dots, P\}$ ,  $n \in \{1, 2, \dots, Q\}$ ,  $P, Q$  分别由分配总资源上限跟 MTCH 数目决定。

下面将对 3GPP 标准中定义的 3 种主要 MBMS 业务: Radio Broadcast 业务、FTP 组播业务及视频组播业务进行分析。

对于 Radio Broadcast 业务,包大小随机变量  $p_i$  服从两点分布,取值固定,因此  $g_2$  为定值。由于  $g_1, g_2$  远大于  $C$ ,再结合实际  $P, Q$  限制,通过分析不难发现式(5)无法成立。

对于 FTP 组播业务,  $p_i$  服从截断对数正态分布。然而由于这些包以两种不同的概率组装为大小分别为 1500 字节及 576 字节的最大传输单元 MTU,因此  $g_2$  取值不再固定,其波动可以由下式表示

$$\Delta_1 = |1500m_1 - 576n_1|, (m_1, n_1 \in \{0, 1, 2, \dots\}) \quad (6)$$

结合式(5)与式(6),式(5)成立概率不会高于  $10^{-5}$  数量级。

对于视频组播业务,  $p_i$  服从截断帕累托分布。由于视频业务没有像 FTP 那样组装为 MTU,因此  $g_2$  变化粒度大大减小,式(5)成立概率将显著增加。然而,由于  $g_1, g_2$  本身值远大于  $C$ ,式(5)成立概率仍然很低。

从以上 3 种主要组播业务的分析知,式(2)成立概率很低,即绝大多数情况下一个 MTCH 的结束子帧与其后的一个 MTCH 的起始子帧相同,故用户判断偏差概率很小,功率浪费可忽略。因此第 1、第 2 种方案要优于第 3 种方案。

另外,由于一个无线帧中最多可以有 6 个子帧用于 MBSFN,对于 320ms 调度周期,可用的子帧数为 192(对 TDD 则为 160),第 1、第 2 两种方案中表示每个 MTCH 所需比特为 8。但是,这种方式仍会浪费不少比特。根据 LTE 小区边缘用户要达到 1bps/Hz 的需求,在 LTE 最低带宽配置 1.4MHz 下,如果 320ms 调度周期内一个 MTCH 分配子帧数为 16,那么该 MTCH 可容纳的 MBMS 业务速率为  $1.4 \times 32 / 16 = 70\text{Mbps}$ 。此速率已经可以满足各种视频业务需求。可见,限制每个 MTCH 可分配的子帧数目,并不会给业务带来影响。

基于此考虑,本文设计了一种差分子帧指示方案。本方案中,我们结合第 2 种方案的优点,用结束子帧位置来标识每个 MTCH。不同点在于第 2 种方案中用绝对帧号来表示 DSI,本方案用下一个 MTCH 的结束子帧位置相对于前一个 MTCH 结束子帧位置的偏移来表示 DSI。以图 1 为例,MTCH1, MTCH2, MTCH3 的结束子帧位置用第 2 种方案表示为 3, 5, 7, 用差分法表示则为 3, 2, 2。如果限制每个 MTCH 可占用子帧数为 15,那么每个 MTCH 可以用 4 比特表示 1~15, 0 用于指示空白 MTCH,此种方案可以节省一半的比特开销。DSI 设计方案如图 2 所示。

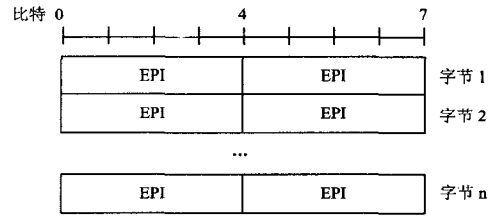


图2 DSI设计方案

图中 EPI(End Position Index 结束位置索引)为 4 比特 MTCH 结束子帧位置的差分索引值。

### 3 仿真结果

我们严格按照 3GPP 标准业务源模型及 LTE 协议栈搭建 OPNET 仿真平台,测试“一个 MTCH 结束时子帧中剩余资源无法被下一 MTCH 业务利用”的概率。仿真参数如表 1 所列。

表 1 仿真参数

| 参数            | 值                                                                          |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------|
| MBMS 业务源      | FTP、视频(64kbps, 384kbps)、Radio broadcast                                    |
| 调度周期(MSAP)    | 320ms                                                                      |
| MBSFN 子帧分配周期  | 20ms                                                                       |
| 每帧 MBSFN 数    | 2                                                                          |
| 带宽            | 20MHz                                                                      |
| MAC PDU 子头部大小 | 2 字节                                                                       |
| RLC PDU 头部大小  | 2 字节                                                                       |
| MTCH 数目       | 4, 8, 12, 16                                                               |
| MCS           | 7: (16-QAM, 码率: 0.369)<br>8: (16-QAM, 码率: 0.479)<br>9: (16-QAM, 码率: 0.602) |

如表 1 所列,仿真中我们选取了 3 种主要 MBMS 业务: (1)Radio Broadcast 业务; (2)64kbps 及 384kbps 视频组播业务; (3)FTP 组播业务。仿真对此 3 种不同的业务分别进行评估。在对各个业务进行仿真时,每个 MTCH 中均发送同样的业务。MTCH 数目及 MCS 配置均为几种典型配置。

Radio Broadcast 业务、FTP 业务、视频业务的业务源模型参数分别如表 2、表 3、表 4 所列<sup>[7]</sup>。

表 2 广播业务源模型参数

| 参数    | 值     |
|-------|-------|
| 包大小   | 6.4kb |
| 包间隔时间 | 0.1s  |

表 3 FTP 业务源模型参数

| 参数      | 分布类型     | 分布参数                                | 概率密度函数                                                                                                                              |
|---------|----------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 文件大小(秒) | 截断对数正态分布 | 均值: 2MB<br>标准差: 0.722MB<br>最大值: 5MB | $f_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]$<br>$x \geq 0, \sigma = 0.35, \mu = 14.45$ |
| 读取时间    | 指数分布     | 均值: 180s                            | $f_x = \lambda e^{-\lambda x}, \lambda = 0.006$                                                                                     |

3 种业务的仿真结果如表 5 所列。

表 5 为在各种典型 MTCH 数目及 MCS 等级配置下,一个 MTCH 业务结束时子帧中仍剩余的资源无法被下一 MTCH 业务利用的概率。从表 5 中可以看出: (1)对 Radio broadcast 业务类型,该概率为 0,说明包大小固定业务不会出现无法分配下一子帧情况; (2)对 FTP 组播业务,该概率在  $10^{-6}$  数量级,这是由于 FTP 的 MTU 包大小仅有两种取值;

(3)对 64kbps 及 384kbps 视频组播业务,该概率在  $10^{-3}$  数量级,这是由视频包大小变化比较大引起的。

表 4 视频业务源模型参数

| 参数   | 帧到达时间<br>间隔      | 每帧包个数 | 包大小                                                                                           | 包到达时间<br>间隔 |
|------|------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 分布类型 | 定值<br>(基于 10fps) | 定值    | 截断帕累托分布<br>(64kbps 码率时;均值 50 字节,最大值 250 字节) (均值:6ms,最大<br>(384kbps 码率时;均值 300 字节,最大值 1500 字节) |             |
|      |                  |       | K=40 字节(64kbps 码率)<br>K=240 字节(384kbps 码率)<br>$\alpha=1.2$                                    |             |
| 分布参数 | 100ms            | 8     | K=2.5ms<br>$\alpha=1.2$                                                                       |             |

3 种业务的仿真结果均与前面的理论分析非常吻合。总体而言,一个 MTCH 业务结束时,子帧中仍剩余的资源无法继续被用于下一 MTCH 业务的概率为  $10^{-3}$  数量级或更低。因此,在绝大多数情况下,一个 MTCH 的结束子帧的位置同

时也是后一个 MTCH 的起始子帧的位置。在 DSI 设计中,仅需指示各个 MTCH 起始子帧位置或结束子帧位置,交界处两业务不共用子帧概率很低,所以用户多接受一子帧所引起的功耗的增加基本可以忽略。

**结束语** 通过理论分析与仿真验证表明,在 MCE 对 MBMS 业务动态调度时,一个 MTCH 结束子帧是后一个 MTCH 的起始子帧的概率很大。根据这一结论,在 DSI 中仅需指示各 MTCH 所占据子帧的起始子帧或结束子帧,用户即可准确地获得相应的调度信息。相对于结束子帧的指示方法,起始子帧的指示方法存在最后一 MTCH 的结束子帧不好定位的问题。本文在结合结束子帧的指示方法优点的同时,通过进一步的分析发现,一个 MTCH 所占据子帧的数目不会太多,结束子帧指示方法所索引的子帧的绝对位置仍具有一定冗余性,由此提出了一种结束子帧差分的索引方案,更进一步减小了 DSI 信息的开销。

表 5 剩余资源无法用于发送下一 MTCH 的概率

| MCS                            | MTCH 数目 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                | 4       |      |      | 8    |      |      | 12   |      |      | 16   |      |      |
|                                | 7       | 8    | 9    | 7    | 8    | 9    | 7    | 8    | 9    | 7    | 8    | 9    |
| Radio broadcast                | 0       | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| FTP( $\times 10^{-6}$ )        | 3.3     | 1.25 | 1.03 | 1.6  | 3.75 | 0.90 | 1.25 | 1.13 | 0.74 | 1.10 | 1.78 | 0.49 |
| 64kbps 视频( $\times 10^{-3}$ )  | 1.26    | 0.85 | 0.42 | 0.80 | 0.50 | 0.33 | 0.60 | 0.40 | 0.30 | 0.53 | 0.35 | 0.23 |
| 384kbps 视频( $\times 10^{-3}$ ) | 0.39    | 0.40 | 0.43 | 0.29 | 0.28 | 0.30 | 0.25 | 0.28 | 0.27 | 0.25 | 0.27 | 0.27 |

参 考 文 献

[1] Sesia S, Toufik I, Baker M. LTE-The UMTS Long Term Evolution; From Theory to Practice [M]. John Wiley & Sons Ltd., 2009:327-332

[2] 3GPP TS 36.300 V9.1.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network(E-UTRAN), Overall description, Stage 2 (Release 9) [S]. www.3gpp.org, 2009-09:82-84

[3] Chen Yu. Statistical Multiplexing for LTE MBMS in Dynamic Service Deployment [C] // Vehicular Technology Conference

2008. IEEE, VTC Spring, 2008

[4] Chandra K. Statistical Multiplexing [J]. Wiley Encyclopedia of Telecommunications, 2003

[5] Alcatel-Lucent. R2-093093; MAC PDU design for eMBMS scheduling [Z]. www.3gpp.org, 3GPP TSG RAN WG2, meeting 66, 2009-05

[6] Huawei. R2-093778; Details of Dynamic Scheduling Information [Z]. www.3gpp.org, 3GPP TSG RAN WG2, meeting 66, 2009-07

[7] 3GPP TR 25.892 V6.0.0. Feasibility Study for Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) for UTRAN enhancement (Release 6) [S]. www.3gpp.org, 2004-06:60-62

(上接第 62 页)

具有明显的优势,从而能够满足事件驱动型无线传感器网络在实时性、可靠性、负载均衡及拥塞控制等方面的要求。

**结束语** 本文采用多种群蚁群算法对事件驱动型无线传感器网络进行跨层路由优化,针对网络的特殊需求,将节点的单跳延迟及统计获得的 MAC 层节点接入效率、负载队列长度等参数信息作为路径选择的路由判据。实验证明,该算法求解得出的最优传输路径能够满足无线传感器网络的实时性、可靠性及负载均衡等方面的要求,保证了事件驱动型无线传感器网络的服务质量。

参 考 文 献

[1] 钱春丽, 张兴敢. 用于矿井环境监测的无线传感器网络 [J]. 电子技术应用, 2006(9):21-23

[2] 贺鹏. 移动 Ad Hoc 网络中路由与拓扑控制技术的研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2007

[3] Ramadhan M, Davis M. Investigation of a cross-layer modification to the DSR routing protocol in wireless mesh networks [J]. Ireland

[4] Dorigo M, Maniezzo V, Colnari A. Ant system: optimization by a colony cooperating agents [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1996, 26(1):2941

[5] Sim K M, Sun W H. A comparative study of ant based optimization for dynamic routing [C] // Liu, et al., eds. 2001 LNCS 225. 2001:153-164

[6] 张倬. 改进的 AntNet 算法在 ZigBee 网络路由中的研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2008

[7] 夏鸿斌. 计算智能方法及在网络优化和预测中的研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2009