

LTE 系统中 M2M 业务随机接入优化方案*

施苑英, 卢光跃

(西安邮电大学 通信与信息工程学院, 西安 710121)

摘要: 针对 LTE 系统中海量 M2M 终端同时接入引起的频繁碰撞问题, 提出一种基于分组的解决方案。将同一小区内 M2M 终端划分成组并引入组长节点, 由组长代表本组发起接入请求, 基站根据当前负荷情况分配接入资源并通过组寻呼触发组员节点的随机接入过程。理论分析和系统级仿真实验结果表明, 相比 LTE 系统, 现有的随机接入策略新方案在终端数量较多时能够有效减少碰撞次数, 提高首次接入的成功概率。

关键词: 随机接入; 长期演进; 机器对机器; 分组; 组长; 组寻呼

中图分类号: TN929.53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)12-3742-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.12.058

Optimized random access mechanism for M2M service in LTE system

SHI Yuan-ying, LU Guang-yue

(School of Telecommunication & Information Engineering, Xi'an University of Posts & Telecommunications, Xi'an 710121, China)

Abstract: In order to avoid frequent collisions caused by simultaneous access of massive M2M terminals in LTE system, this paper proposed an optimized mechanism based on grouping. This scheme divided M2M terminals in one cell into groups and initiated access request by the leader of each group. Then the base station allocated access resources according to its current load conditions and triggered random access procedure of other members of the group by group paging. Theory analysis and system-level simulation results show that, compared with existing random access method employed by LTE, the new scheme can effectively reduce the number of collisions and improve the success probability of first time access.

Key words: random access; long term evolution(LTE); machine to machine(M2M); grouping; leader; group paging

近年来,第四代移动通信技术的发展与应用为物联网建设提供了坚实的网络基础。然而,当前的 LTE 网络是针对人与人通信(human to human, H2H)设计的,不适合 M2M 通信的海量终端、低数据率、低移动性等特点^[1,2],因此需要对其进行优化和改造,首先应解决的是智能电网、智能监测等应用中海量终端接入对 LTE 网络造成的影响^[3]。

文献[4]采用为 M2M 业务分配专用随机接入资源的方法,可以减小对现有 H2H 业务的影响,但是不能解决 M2M 终端高并发接入导致的网络过载。文献[5]提出一种 p -坚持型接入算法,要求发生碰撞的终端在下一个随机接入时刻以概率 $p(0 < p < 1)$ 再次发起接入,以概率 $1 - p$ 进行退避。该方案能够降低再次发生接入冲突的概率,在一定程度上降低了网络过载的风险,但是不能减少终端首次接入时产生的碰撞。考虑到智能电网等应用具有终端位置固定、时延不敏感等特点,文献[6]提出一种对 M2M 终端进行分组、并由网络通过组寻呼控制终端接入时间的思想。该方案能够提高首次接入的成功概率,但前提是网络知道终端发送数据的准确时刻,否则会产生较大的时延。如果通过提高组寻呼的频率来减少时延,又会增加网络的信令开销。此外,文献[6]未给出组寻呼的具体实现方法,同时也缺少性能分析验证。为了使网络在无法预知终端发送数据准确时刻的条件下,仍然可以有效地使用组寻呼机制,本文对文献[6]提出的方案加以改进,为每个分组增加一个组长节点,由组长节点触发网络启动组寻呼过程。在详细分

析了方案的系统模型和信令流程后,通过理论分析和仿真实验,将其与现有 LTE 随机接入策略进行了性能比较。

1 系统模型

图 1 所示是基于分组的接入模型。在基站覆盖区域内,通常同时存在 H2H 和 M2M 两类终端。为了保证 H2H 通信的服务质量,此类终端不进行分组,仍然采用 LTE 现有的随机接入方案。同时,为了避免受 M2M 业务影响,基站将为 H2H 终端分配专用的随机接入资源^[4]。对于 M2M 终端,应当根据应用业务类型来决定是否对其进行分组以及如何分组。对于智能电网等实时性要求不高的应用,需要将同时接入基站且具有相同业务类型的一群 M2M 终端划分到同一组,每组由唯一的组号 GroupID 标志。对于地震监测等实时性要求较高的应用,考虑到基于分组的处理方式会增加接入等待的时延,因而不适于采用分组策略。分组过程可以由人工完成,也可以由网络自动实现。前者的 GroupID 由管理人员在部署时指定,后者由基站在 M2M 终端初次接入网络时分配。每个 M2M 组包含一个组长节点和若干组员节点。组长可以人工配置,也可以由基站随机指定。组长节点与组员节点的功能完全相同,区别在于两者具有不同的权限。当组长节点采集到监测数据后,将立即发送随机接入请求,向基站提出组接入申请。此后,基站通过组寻呼消息,要求该组所有节点报告监测数据。组员节点无权主动

收稿日期: 2013-02-26; **修回日期:** 2013-04-11 **基金项目:** 国家科技重大专项基金资助项目(2012ZX03001025);西安邮电大学青年教师科研基金资助项目(ZL2013-08)

作者简介: 施苑英(1976-),女,陕西西安人,讲师,硕士,主要研究方向为下一代网络和宽带无线通信网(shi_yuanying@163.com);卢光跃(1971-),男,河南南阳人,教授,博士,主要研究方向为雷达信号处理、通信信号处理。

接入网络,必须在收到组寻呼消息后才能接入。

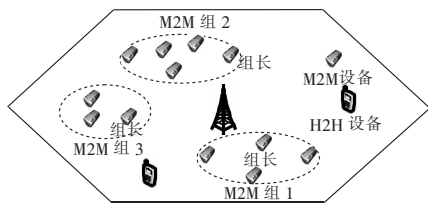


图 1 基于分组的接入模型

2 信令处理流程

基于分组的随机接入方案包括两个处理过程:a)组的划分以及组长的选取;b)终端采集到数据后的随机接入。通过对现有 LTE 随机接入处理进行扩展可以实现这两个过程。

2.1 组的划分

如果不采用人工分组方式,M2M 终端初次接入网络时需要获得一个 GroupID,具体信令过程如图 2 所示。首先,M2M 终端发起随机接入请求,基站检测到后进行响应;然后,M2M 终端发送 RRC 连接请求消息^[7],要求与基站建立无线连接。为了区分终端设备的类型,需要对 RRC 连接请求消息进行扩展,以指明是 H2H 终端或 M2M 终端。对于已经分配了 GroupID 的 M2M 设备,再次接入网络时,必须在 RRC 连接请求消息中包含其 GroupID,避免重复分组。RRC 连接建立成功后,基站将通过 UE 性能询问^[7]过程获知终端的应用业务类型等信息,作为分组的依据。由于在目前的 LTE 标准中,UE 性能询问过程仅用于基站获取终端的无线接入能力,因此需要对其进行扩展。一种可行的处理方法是:在 M2M 设备的终端 ID (国际移动用户识别码 IMSI 或国际移动设备识别码 IMEI)内包含应用业务类型信息,通过扩展 UE 性能询问过程,使基站能够从 M2M 终端获取终端 ID,据此决定如何进行分组。

获知 M2M 终端的属性后,基站将适于分组、且属于同一应用业务类型的终端划分到一组,并通过 UE 组配置/配置确认消息为终端指定 GroupID,这两条消息是为了支持新方案而扩展的。为了避免组规模过大而影响服务质量,允许基站将属于同一应用业务类型的 M2M 终端划分成多个组,终端可以随机分配到其中任意一组,也可以根据地理位置分配到邻近组。由于在小区中可能存在不适于进行分组的 M2M 终端,因此需要定义一个特殊的 GroupID (如 0)作为不分组 M2M 设备的标志。

对于新创建的组,基站将随机选择一个节点作为组长,并通过 UE 组配置消息指明。

2.2 组的接入

当 M2M 终端需要向网络传输监测数据时,必须先判断自己是否为组长。如果不是,则对数据进行缓存,并等待网络发出的组寻呼消息;如果是,终端将立即发送随机接入请求,并在 RRC 连接请求消息中表明这是一个组接入请求。具体信令过程如图 3 所示。

基站收到组接入请求后,将为该组分配随机接入资源,并通过组寻呼消息通知组内所有节点。若基站发现此时接入负荷已经很重,将延迟一段时间后再发送组寻呼消息。

组长成功接入后,将继续发送监测数据,而不需要对组寻呼消息进行响应。组员监听到组寻呼消息后,首先判断其中包含的 GroupID 是否与自身的相同。如果是,则利用寻呼消息中指定的资源发起竞争型随机接入过程^[8]。为了避免收到寻呼后组内成员同时接入而导致频繁碰撞,需要对接入时间进行分散处

理。例如,组员可以在(0,Delay_Time)之间随机选择一个退避时间。Delay_Time 由基站在组寻呼消息中指定,表示分配给该组资源的有效时间。一旦超出这段时间,将禁止组员继续使用指定的随机接入资源,因为它们可能已经分配给其他组使用。Delay_Time 的大小与分配给该组随机接入资源的数量有关。

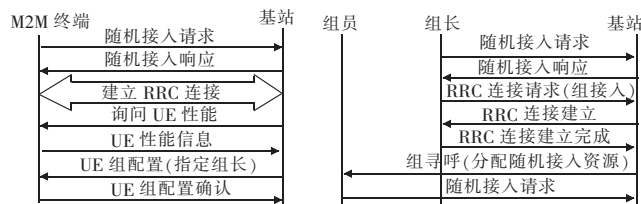


图 2 组划分的信令过程

图 3 组接入的信令过程

3 性能分析

为了客观地评价本文所提出的 M2M 业务接入方案,利用文献[9]定义的业务模型对 M2M 终端首次接入的成功概率进行分析。在 LTE 系统中,终端从空闲态初始接入时将自由选择随机接入资源。随机接入资源包括前导码和用于发送前导码的时频资源块,如图 4 所示,每个时频资源块上最多可使用 64 个正交的前导码。首次接入成功概率是终端首次发起接入尝试时,在所选时频资源块内没有其他终端与其选择相同前导码的概率。

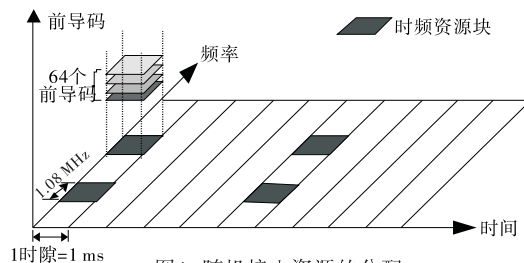


图 4 随机接入资源的分配

假设某小区共有 M 个 M2M 终端同时接入,接入持续时长为 T 秒;随机接入时频资源块的配置为 m 个/s,前导码共 $k(k \leq 64)$ 个。为了简化分析,假设接入尝试的到达速率服从泊松分布,则到达率 λ 等于每秒发生的随机接入尝试次数,即 $\lambda = M/T$ 。在未分组的情况下,所有 M2M 终端公平竞争随机接入资源,每秒内可用的随机接入资源总数为 $L = m \times k$,每个随机接入资源上的平均负载为 $G = \lambda/L$ 。此时,终端首次接入成功概率为

$$p_s = e^{-G} = e^{-\lambda/L}$$

在分组的情况下,前导码分为两部分,其中, k_1 个用于组长节点的接入, k_2 个用于组员节点的接入,且满足 $k_1 + k_2 = k$ 。假设平均每组有 M_l 个节点,则组长节点的数量为 $l = M/M_l$ 。由于组的划分以及组长节点的选取都是随机的,因此根据 Raikov 定理^[10],组长节点首次接入的成功概率为

$$P_L = e^{-\frac{l/T}{m \times k_1}} = e^{-G \frac{l \times k}{M \times k_1}}$$

假设小区每次将 k_2 个前导码全部分配给一个组使用,并指定接入等待时间的上限值为 D 秒。组员节点在 $[0, D]$ 内随机选择一个值,作为发起接入前的等待时间。由于等待时间在 $[0, D]$ 内均匀分布,因此平均每个随机接入时频资源块上新产生的接入尝试次数为 $M_l/(m \times D)$ 。组员节点的首次接入成功概率为

$$P_g = \left(\frac{k_2 - 1}{k_2} \right)^{\frac{M_l}{m \times D} - 1}$$

其含义是:当某个组员节点选择一个指定的前导码,而使

用同一时频资源块的其他 $\frac{M_l}{m \times D} - 1$ 个组员任意选择剩余的 $k_2 - 1$ 个前导码时,该节点就能够成功接入。对所有节点进行统计平均,则 M2M 终端首次接入的成功概率为

$$p_{sg} = \frac{l}{M} P_L + \frac{M-l}{M} P_g = \frac{l}{M} e^{-\frac{l \times k}{M \times k_1}} + (1 - \frac{l}{M_l}) (1 - \frac{1}{k_2})^{\frac{M_l}{m \times D} - 1} = \frac{1}{M_l} e^{-\frac{l \times k}{M_l \times k_1}} + (1 - \frac{l}{M_l}) (1 - \frac{1}{k - k_1})^{\frac{M_l}{m \times D} - 1} \quad (1)$$

显然,首次接入成功概率 p_{sg} 受组大小 M_l 、最长等待时间 D 以及前导码划分方式的影响。

4 仿真实验

本文在开源仿真平台 LTE-SIM^[11] 的基础上编写代码,分别实现标准的 LTE 随机接入过程和基于分组的随机接入过程。开发平台采用 Eclipse IDE for C/C++ Developers,编程语言为 C++。仿真实验采用文献[9]提出的业务模型,主要仿真参数如表1所示。

表1 主要仿真参数

参数	取值	参数	取值
M2M 终端数量	1000, 3000, 5000, 10000, 30000	前导码格式 ^[12]	0
接入持续时间/s	10	前导码总数 k	45
组规模	50, 100, 200, 300	前导码数 k_1	5
小区半径/km	1	随机接入信道配置 ^[12]	6
		最长等待时间 D/s	0.1

图5是未分组及组规模分别选取50、100、200、300的条件下首次接入成功概率的比较。由图可见,当接入节点数量较少时,分组会导致成功率降低。这是因为在分组的情况下,同组节点将在收到组寻呼消息后的0.1s内一起接入,这会导致原本接入时间分布较为分散的节点变得集中,反而使碰撞次数有所增加。但是,当接入节点数量增加时,分组的优势逐步明显,并且随着组规模增加,碰撞次数也逐渐增加。

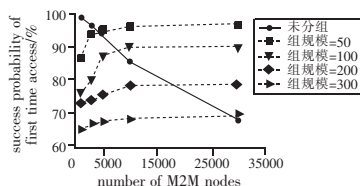


图5 不同组规模下首次接入成功概率的比较

对图5进一步分析发现,当终端数量较少(<5000)时,首次接入成功概率与式(1)得出的理论值存在较大偏差。原因是组长节点是随机选取的,会出现基站发起组寻呼时,仍有部分组员节点尚未采集到数据,从而导致本次的监测数据必须延迟到下一轮组接入时报告。当节点数量增大时,分组的数量也随之增加,由于各组是按照先来先服务的顺序进行接入,且每组的服务时间都达到100ms,这样排队靠后的组因为等待时间较长,使得其绝大部分成员都已经采集到数据,无须等到下一轮。

为了降低将监测数据延迟到下一轮报告的概率,可以采用基站将同一个组寻呼消息重复多次发送的策略。图6比较了组规模分别为50、100、200、300的条件下、选取不同寻呼次数时、延迟至下一轮报告数据的节点所占的百分比。

由图6可见,随着寻呼次数的增加,延迟至下一轮的节点数显著减少。但是当寻呼次数达到3后,这种趋势变得较为缓慢。因此,当同时接入的节点数量较多时,选择对每组连续寻呼3次已经可以保证97%的节点在本轮就能上报监测数据。而继续增加寻呼次数,只能导致随机接入资源被某个组占用的时间更长,增加其他组的等待时间。

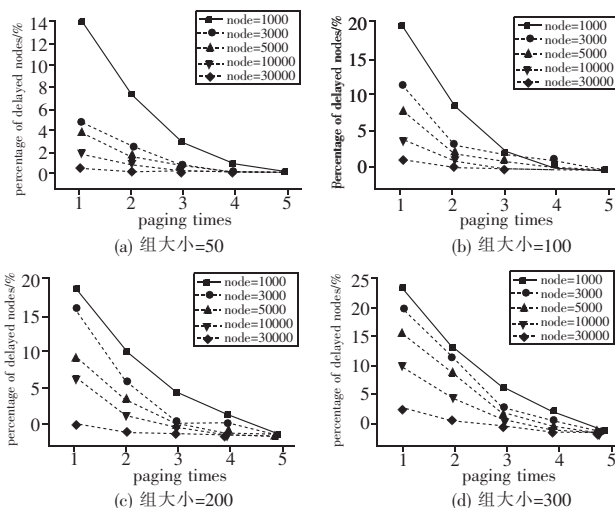


图6 不同寻呼次数下延迟上报节点所占百分比的比较

5 结束语

为了适应 M2M 复杂的应用情形和海量的用户容量,现有 LTE 系统需要在多方面进行优化。本文提出的优化方案通过对 M2M 终端进行分组和由组长触发随机接入过程,不仅解决了海量用户同时接入造成的冲突,而且能够确保 M2M 终端尽快传输监测到的数据。仿真结果表明,在接入节点数量较大时,该方案能够显著减少碰撞次数。下一步的研究目标是继续对方案加以改进,以获得更高的资源利用率和更小的接入时延。

参考文献:

- [1] 沈嘉,刘思扬. 面向 M2M 的移动通信系统优化技术研究[J]. 电信网技术, 2011(9): 39-45.
- [2] CHEN Yu, WANG Wei. Machine-to-machine communication in LTEA [C]//Proc of Vehicular Technology Conference. Piscataway: IEEE Press, 2010: 1-4.
- [3] 王映民,孙韶辉. TD-LTE-Advanced 移动通信系统设计[M]. 北京:人民邮电出版社, 2012.
- [4] LEE K D, KIM S, YI B. Throughput comparison of random access methods for M2M service over LTE networks [C]//Proc of IEEE GLOBECOM Workshops. Piscataway: IEEE Press, 2011: 373-377.
- [5] LO A, LAW Y W, JACOBSSON M, et al. Enhanced LTE-advanced random-access mechanism for massive machine-to-machine (M2M) communications [C]//Proc of the 27th Meeting of Wireless World Research Forum. Düsseldorf: WWRF, 2011: 580-586.
- [6] 3GPP. Group paging for MTC devices [EB/OL]. (2010-08-17) [2012-07-05]. http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/WG2_RL2/TS-GR2_71/Docs/R2-104878.zip.
- [7] 3GPP. TS 36. 331, Evolved universal terrestrial radio access (EUTRA); radio resource control (RRC); protocol specification [S]. Valbonne: 3GPP, 2012.
- [8] 3GPP. TS 36. 321, Evolved universal terrestrial radio access (EUTRA); medium access control (MAC) protocol specification [S]. Valbonne: 3GPP, 2012.
- [9] 3GPP. TR37. 868, Study on RAN improvements for machine-type communications [S]. Valbonne: 3GPP, 2011.
- [10] JOHNSON N L, KEMP A W, KOTZ S. Univariate discrete distributions [M]. 3rd ed. New Jersey: Wiley, 2005.
- [11] PIRO G, GRIECO L A, BOGGIA G, et al. Simulating LTE cellular systems: an open-source framework [J]. IEEE Trans on Vehicular Technology, 2011, 60(2): 498-513.
- [12] 3GPP. TS36. 211, Evolved universal terrestrial radio access (EUTRA); physical channels and modulation [S]. Valbonne: 3GPP, 2012.