

M2M 的移动通信优化技术

1 引言

随着物—物(M2M)通信业务的快速发展,传统传感器网络承载 M2M 业务面临越来越多的局限性和挑战,急需将传感器网络和移动通信网络相结合,发挥移动通信覆盖广、可靠性高、传输延迟小等特点,形成分层移动 M2M 网络。

本文对面向 M2M 业务的移动通信优化技术进行了探讨。首先,通过对传感器网络的特性研究,给出了一种 M2M 业务流量建模方法,在此基础上提出了优化方向,并提出了一些优化技术方案。另外,本文也对 3GPP 在 M2M 优化技术方面的研究工作做了简单介绍。

无线传感器网络(WSN)和移动通信的结合,既是无线传感器网络产业发展的需要,也是移动通信产业发展的需要,如图 1 所示,这种结合可以解决两个产业的诸多发展瓶颈,大大扩展两个产业的业务应用领域,带来很多新的机遇。



图 1 无线传感器网络和移动通信的结合

2 移动 M2M 通信系统架构

如图 2 所示,基于移动通信系统的 WSN 网络可以灵活支持各种规模的 WSN 网络。可以由 WSN 节点通过有限的分层汇聚构成一定规模的 WSN 网络后,通过具有移动终端功能的 WSN 网关回传到移动通信系统。也可以由移动基站直接连接具有移动终端能力的传感器,此时这些传感器既是 WSN 节点,也是 WSN 网关。这种结构完全不需要 WSN 节点之间的自组网,可以最大限度地降低传输延迟,支持对实时性要求很高的监控应用。移动终端(如手机、笔记本电脑)本身如果具有传感器功能,也可以作为 WSN 节点和 WSN 网关使用,构建个域 WSN 网络。

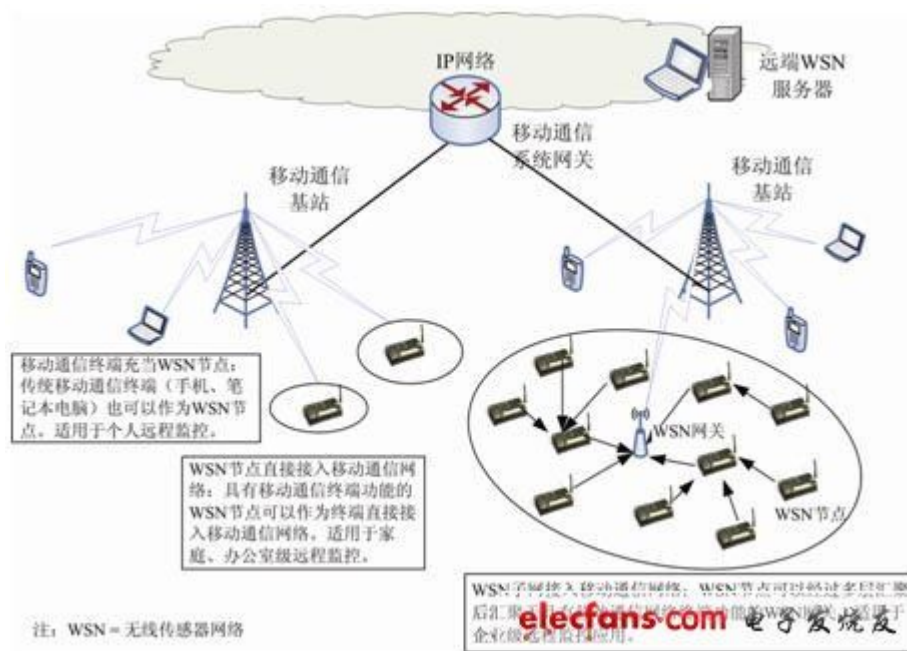


图 2 与移动通信网络结合的 WSN 网络

3 移动 M2M 系统优化方向

现有的 3G, LTE 移动通信系统从其最根本的设计需求上讲是解决人与人 (H2H) 通信, 尽管随着技术的发展其自身在不断地完善和演进, 但由于没有针对 M2M 通信特点进行优化, 仍难以完全适应 M2M 业务复杂的应用环境, 无法满足海量 M2M 接入的需要。因此为了适应 M2M 业务的需求, 需要在如下几个方面进行优化。

3.1 M2M 新型终端类型的优化

目前, 无线通信系统的终端类型是按照 H2H 终端的需求定义的, 即“低端手机”和“高端手机”, 尤其是新一代宽带无线通信系统, 终端能力呈上升趋势。具体参数包括:

- (1) 射频频带: 通常要求支持十几个频点。
- (2) 多种带宽处理能力: 如 5MHz, 10MHz, 20MHz。
- (3) 多天线处理能力: 最大支持 4 个天线端口的 MIMO 接收。
- (4) 数据吞吐量能力: 最大支持 100Mbit/s 以上吞吐量。
- (5) 缓存大小: 通常支持很大的缓存。

(6) 异频和异系统切换组合。

M2M 终端可能是很低成本、很低耗电、很低移动性的海量终端，因此 M2M 终端支持更少的射频频带、更小的带宽处理能力、更简单的多天线处理能力、更灵活的吞吐量能力和缓存能力、更简单的移动性、只支持 PS 域。

3.2 M2M 功耗降低优化

目前无线通信系统的终端电池寿命通常在 2~3 天，其高耗电主要是因为终端在空闲状态下需要周期性接收系统广播信道；在激活状态下需要周期性接收公共控制信道，睡眠时间短；需要支持自适应操作的大量测量、反馈、信令；需要支持切换和移动性管理的大量测量、反馈、信令。而 M2M 终端可能是数据模型单一、周期性发送接收、不需切换和移动性管理的，主要表现在以下几方面：

(1) 设计更长周期的预定义接收。

(2) 设计更长周期的 DRX 周期。

(3) 设计更有效的持续调度策略，最大限度简化测量、反馈和信令。

(4) 简化移动性管理，最大限度简化测量、反馈和信令。

3.3 M2M 覆盖扩展优化

目前无线通信系统主要考虑 H2H 通信的典型覆盖场景，容量和覆盖的平衡点也依照典型 H2H 通信场景确定。而 M2M 终端很可能放置在比 H2H 终端环境更恶劣的位置，考虑更恶劣的链路预算，因此 M2M 系统在覆盖方面提出了更高的要求，需要考虑对移动通信系统的覆盖能力进行增强，如：

(1) 通过鲁棒性更高的链路传输，获得更好的链路预算。

(2) 采用增益更高的射频器件和天线。

(3) 采用 Relay 等新型网络拓扑拉近终端和基站的距离。

3.4 M2M 海量容量优化

目前无线通信系统的小区容量是以典型的 H2H 终端密度来考虑的，如手机、笔记本电脑。传统系统每个带宽大于 5MHz 的小区支持 400 个终端，终端 ID 数量、参考信号数量、控制信道数量较小，资源分配粒度过大，MAC，RLC 和 RRC 层协议的处理能力不足。

从长远看来，M2M 终端的数量很可能超过 H2H 终端，且从成本考虑，应尽可能不挤占 H2H 终端的容量，因此 M2M 系统应具备如下能力：

(1) 支持更大的用户数量，如 200 个 H2H 终端+400 个 M2M 终端。

(2)支持更大的信道容量、终端 ID 数量、参考信号数量和控制信道数量，采用更精细的资源分配粒度。

(3)扩展的 MAC，RLC，RRC 处理能力，同时通过简化处理过程限制复杂度。

3.5 M2M 低数据率优化

目前无线通信系统的终端最低数据率是考虑典型 H2H 通信的需求，如电路域话音或 VoIP 的数据率。但是很多 M2M 终端的最小数据率比 H2H 终端低很多，为了保持有吸引力的资费，需要大大降低每线成本，需要降低每线占用的无线资源，在原有单位资源中容纳更多的终端并行传输。

3.6 M2M 时间控制优化

无线通信系统对时间延迟的控制，是按照 H2H 典型业务的用户感受要求来考虑的。话音、实时数据等实时业务的时延要求为秒量级，非实时业务的时延要求为分钟量级。而 M2M 终端的时间控制和 H2H 终端可能有很大不同。某些 M2M 业务对时间延迟的容忍度很大，可以达到小时量级；但某些 M2M 业务又对延迟要求很高，可能达到毫秒量级。因此，对 M2M 终端的传输可进行优先级控制，保证时间控制要求较高的终端优先传输，对时间控制要求较低的终端可以等到系统负载较低的时候再传输。

3.7 M2M 低移动性优化

移动通信系统按照 H2H 通信需求，均须支持切换和移动性管理功能，占用了移动通信系统的相当一部分功能。包括小区间、频率间、系统间的测量和切换。而很多 M2M 终端几乎不需要移动性，可以对移动性管理功能进行大幅简化，以降低成本和耗电。

3.8 M2M 防盗/防破坏优化

由于 M2M 终端经常置于无人值守的环境，因此防盗/防破坏的要求很高。为了满足这些要求，M2M 终端应具备自动上报状态和自动位置上报的能力。

4 分层 M2M 资源分配和接入

针对上述 M2M 需求，可提出一系列面向 M2M 的移动通信优化技术，本文重点讨论分层 M2M 资源分配和接入技术。

M2M 系统的一个特点是需要支持海量的小数据率终端的资源分配和接入，直接缩小资源分配粒度并增大终端接入数量，需要对系统的设计做很大改动，而采用分层设计可以只对系统做小幅度修改而取得相似的效果。

这种方法的思想是将终端分成若干组，每个终端组采用一个终端组 ID，一个终端组内部的终端再采用终端 ID 来进一步区分。这种方式可以用较短的 ID 来实现，可以节省 ID，节省址复杂度。

M2M 终端和 H2H 终端不同，其行为不是完全随意的，一组 M2M 终端(如一组相似类型的传感器)行为相似，就可以将多个总是保持相同状态(接入、附着、释放)的 M2M 终端分为一组，共享 1 个终端 ID。从资源分配的角度，可以将具有相同的业务流量模型(包括相同的数据率、时延要求等)和资源需求量的多个终端分为一组，使终端组内所有终端的资源需求之和相当于一个传统 H2H 终端的资源需求量。

终端组内有一个终端充当“组长终端”，组长终端负责代表组内所有终端和网络的链路层保持连接，“组员终端”对于系统链路层是“透明的”。通过高层 ID(如 IP 地址)进一步区分这个终端组内的各个终端。同时，“组长终端”代表整个终端组向系统请求无线资源，其他“组员终端”，不直接向系统申请资源。而是在组内所有终端之间形成固定的、预定义的资源分配。这样，系统分配给“组长终端”一个资源块，就相当于将这个资源块分给了这个终端组。系统的资源指示信令相当于在终端组内进行广播，组内的所有终端接收到系统的资源指示信令后，根据终端组的分配组员块和自己在组内的具体资源位置发送信息。基于此分层终端 ID 结构的终端接入和资源分配流程如图 3 所示：

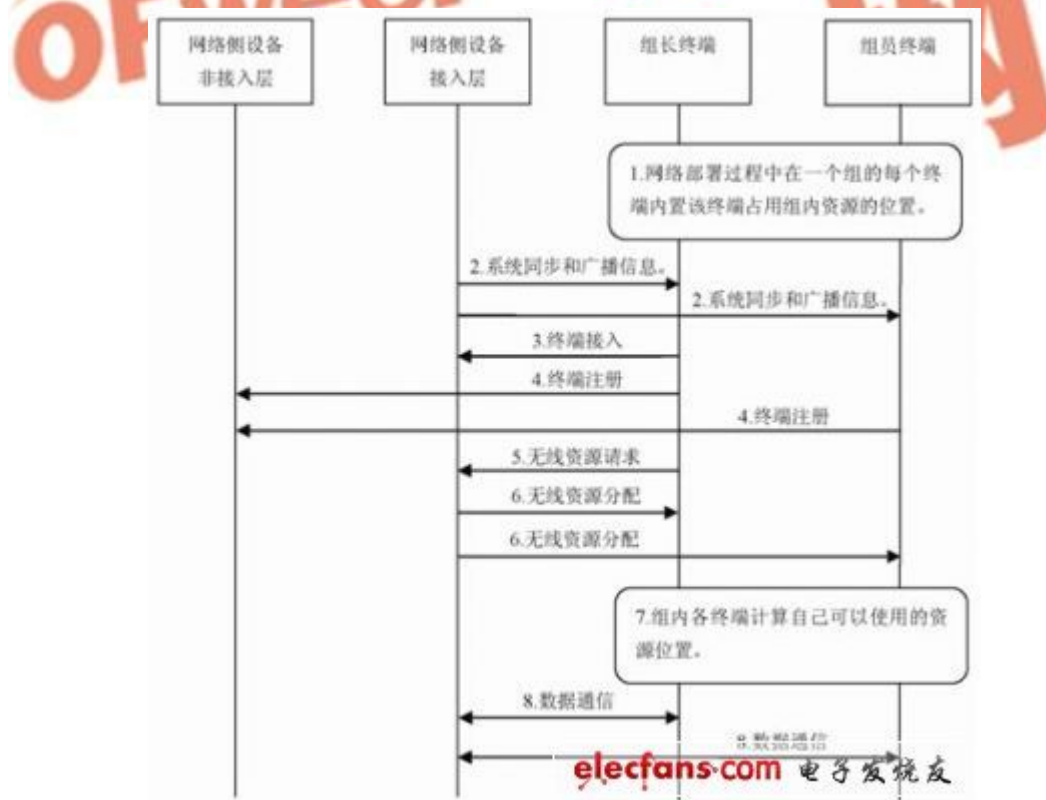


图 3 基于分层终端 ID 的接入和资源分配流程

(1) 在网络部署过程中, 对一个终端组内各终端的资源分配方法进行预定义, 即组内各个终端占用分配给该终端组的资源的哪一部分。

(2) 终端接收网络侧设备接入层发出的系统同步和广播信息, 组长终端和组员终端都接收此信息。

(3) 组长终端代表整个终端组向网络侧设备接入层发起接入。

(4) 组长终端和各组员终端分别向网络侧设备非接入层进行注册。

(5) 组长终端代表整个终端组向网络侧设备接入层发出资源请求。

(6) 网络侧设备接入层向组长终端发布分配给该终端组的无线资源。

(7) 组内各终端根据第 1 步中预定义的组内资源分配方法, 计算出自己应该使用网络侧设备分配给本组的资源的哪一部分。

(8) 各终端在计算出的资源位置开始和网络侧设备进行通信。

由于可以选择 RRC 状态相似的 M2M 终端 (如相似类型的传感器) 形成一组, 一个组内的多个终端可以总是保持相同 RRC 配置, 可通过同一个 RRC 连接来配置整个组的终端。由于 M2M 终端的信令较少, 一个组的多个终端还可以采用时分、码分的方式共享一个控制信道。另外, M2M 资源分配需要支持小颗粒的资源分配, 可能采用的方式包括:

● **码分方案:** 即将一个资源块分给多个终端, 终端之间进一步采用扩频码复用, 采用码复用使多个 M2M 终端共享一个最小资源颗粒。这种情况下, 只要将 M2M 终端采用的扩频码和终端 ID 绑定就可以。

● **时分方案:** 即将几个 M2M 终端分为一组, 共享一个资源块, 在一个资源块内的不同符号协同传输。

。终端间采用“预定义分配”避免额外信令, 但需要考虑如何进行信道估计。

● **频分方案:** 即仍保持频率资源分配, 只是将每个用户的频带宽度减小, 如将每个信道的带宽缩小到数 kHz。这种方案可以直观地实现小数据率 M2M 传输, 将改变标准, 无法保持后向兼容性。

5 3GPP 对 M2M 优化技术的研究进展

3GPP 并不研究所有的机器通信, 只研究具有蜂窝通信模块、通过蜂窝网络进行数据传输的机器通信, 称之为 MTC (Machine Type Communication)。

在 2009 年 9 月份的 RAN #45 次会议上，3GPP 决定在 R10 启动一个研究针对 MTC 应用的无线网优化的 Study Item(SI)：“RAN Improvements for Machine-type Communications”，相应成果收集在 TR 37.868 中。此 SI 的主要研究工作在 RAN2 进行，项目首先对 MTC 典型应用、业务模型和优化对象等进行研究。经过研究，RAN2 将无线网拥塞确定为首要工作重点，包括 RAN 网络拥塞(尤其是随机接入的拥塞问题和信令网络拥塞)。

在 2010 年 9 月的 RAN #49 次全会上，在 SA 的推动下，RAN 全会决定成立一个关于 MTC 的新的 WI，用来解决避免大量 MTC 设备接入导致的核心网过载问题。2011 年 3 月份，RAN2 完成了此 WI 并在 RAN 全会上通过。图 4 所示的是 3GPP MTC R10 标准化项目进程情况。

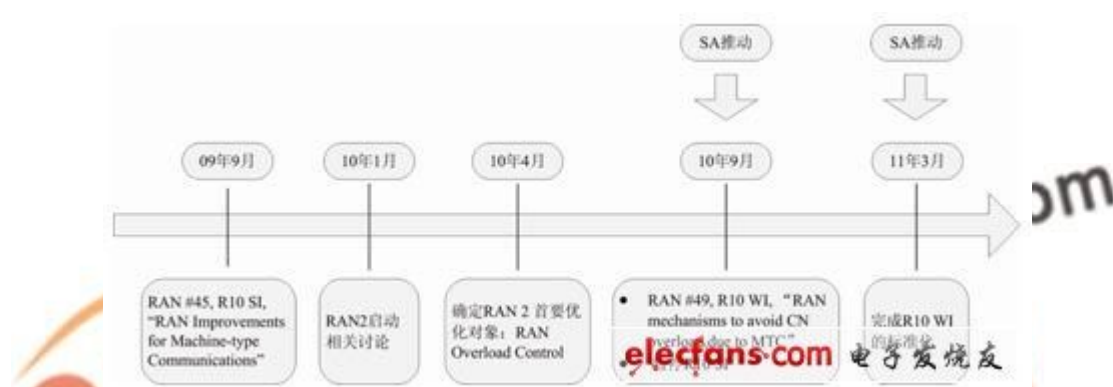


图 4 3GPP MTC R10 标准化项目进程

5.1 随机接入拥塞解决方案

在 3GPP 讨论中，首先统一了 LTE 及 UMTS 系统的随机接入拥塞的仿真评估。另外，TR 37.868 还收录了对智能抄表类 MTC 应用、车队管理类 MTC 应用以及地震监测类 MTC 应用的随机接入分析。

关于如何解决大量 MTC 设备同时接入引起的随机接入拥塞问题，可以通过在应用层控制 MTC 设备的接入时间来解决，比如：在智能抄表类的业务中，可以通过在应用层设置不同的上报时间来避免大量智能水/电表同时触发业务上报。然而，在未来的 M2M 用户中，存在着大量的行业用户，这些行业用户可能并不完全受运营商的控制，也不了解蜂窝网络的特性，因而不会从网络利用的角度出发来考虑设置应用层的接入时间控制。在某些场景中，比如地震预报，大量的传感器必须在极短的时间内上报告警信息，网络必须能够同时处理大量的信息上报。因而也应该寻找无线侧针对 MTC 设备接入时间的控制方法，这些方案对于应用层是透明的，即使应用层没有设置相应的接入时间控制，网络也可以从容应付大量 MTC 设备的同时接入。

在 3GPP 的讨论中，确认了以下几种解决随机接入拥塞的无线侧候选方案：

(1) 接入控制方案

在 E-UTRAN 中，接入控制是由 Access Class Barring 功能实现的，用来抑制过多的流量，避免拥塞。当终端要求建立一个连接时，终端应当首先执行 Access Class Barring 检查。如果检查成功，终端才会发送 RACH 前导，开始 RRC 连接建立过程。E-UTRAN 执行 Access Class Barring 的方法是：通过小区广播一个 Barring 因子和 AC Barring Time。当终端启动层 3 接入时，终端抽取一个随机数，将这个随机数和 Barring 因子做比较。如

果这个随机数小于 Barring 因子，终端开始随机接入过程，否则，终端会在 AC Barring Time 内被阻止接入。因此，可以为 MTC 设备引入新的 Barring 因子，实现对 MTC 终端的接入控制。

(2) 资源划分方案

大量 MTC 设备的同时接入会增大 RACH 信道的负载，以及 RACH 前导碰撞的概率，同时也会影响正常终端的工作，使正常终端的碰撞概率也增加。可以通过为 MTC 设备动态地分配 RACH 资源来解决此问题：将一些 RACH 资源用于 MTC，其他 RACH 资源用于正常终端，这样，MTC 冲突概率的增加不会影响正常终端，RACH 资源分配可以根据网络状态而动态调整并在系统信息中广播。

(3) 动态 RACH 资源分配方案

此方案主要是“开源”，即增加 RACH 资源：首先，可以在时间域上增加，即当 eNodeB 检测到随机接入的高峰正在到来时(如 Preambles 利用率超过了预定义的门限)，可以通过 Paging 或者新的 SIB 来暂时增加一个或多个子帧作为 PRACH 资源，当高峰过去以后，可以取消暂时增加的配置。其次，也可以在频率域上增加。目前的 LTE 标准中，用于 RACH 接入的资源是 6 个 RB。当 eNB 检测到随机接入的高峰正在到来时，其可以通过 Paging 或者新的 SIB 来暂时增加另外的 6 个 RB 作为 RACH 资源。

(4) MTC 特定的随机接入回退(Backoff)方案

在目前的 LTE 中，普通终端在初始接入时的回退值设为零，当初次接入没有成功，eNB 会通知终端一个具体的回退时间，终端在零和此回退时间内产生一个随机值，经过此随机值的时间，终端才可以重新发起接入。此方案的主要思想是为 MTC 引入一个与普通终端不同的回退方案，比如：初始接入时即有一个非零的回退值，另外，回退值的范围也可以比普通终端更广。

(5) MTC 特定时隙接入方案

此方案为 MTC 设备定义一个接入周期/时隙(与寻呼周期/时隙的概念相似)，每个 MTC 设备只能在特定的接入时隙内接入，其具体的接入时隙可以通过其 ID(IMSI)来决定。

(6) Pull 方案

对于某些 MTC 应用，如智能抄表，可以不允许它们进行类似于普通终端的 Mobile Originating 呼叫。而是通过 MTC Server 控制的方法，即让 MTC Server 触发 MME 来寻呼相应的 MTC 设备，只有被寻呼的设备才能接入网络发送它们的数据。目前的寻呼消息必须包含每个被寻呼终端的 ID，只有符合终端 ID 的终端设备会回应寻呼消息。此方案引入了组 ID 的概念，可以在寻呼消息中发送这个组 ID，所有属于这个组 ID 的 MTC 设备都会回应这个 Paging 消息。通过使用组 ID，极大地减少了寻呼开销。另外，可以通过设置组的大小，来控制同时接入无线网的 MTC 设备数量。

5.2 针对核心网拥塞的无线侧解决方案

当核心网拥塞时，E-UTRAN 应当识别并及时拒绝掉一些低优先级 MTC 终端的接入，以保证高优先级终端(包括高优先级 MTC 终端)的传输。为此，3GPP 决定为终端引入一个“Delay Tolerant”指示，当终端使用此指示时，表明其可以在网络拥塞时忍受较长的延迟。

值得注意的是，MTC 应用也千差万别，并不是所有的 MTC 应用都可以忍受较长的延迟，比如，用于地震预警的传感网络，即使在网络拥塞时，也必须尽快地让其接入并传送数据。因此是否将 MTC 应用映射到“Delay Tolerant”上，由运营商在 NAS 层配置。

当核心网处于拥塞状态时，eNB 可以通过拒绝或释放掉那些对时延容忍度比较高的连接，并反馈一个等待时间值(最大值为 1800s)。当终端收到上述消息后，会在终端侧按照这个等待时间启动一个计时器，在计时器到期前，相应的 MTC 应用不再发起 RRC 连接。

6 结束语

对面向 M2M 的移动通信系统优化技术的研究才刚刚开始，由于这些优化技术不可避免地会改变现有移动通信标准，3GPP 对这些技术方案的态度都是十分谨慎的，到目前为止标准化了针对核心网拥塞的无线侧解决方案，核心原因是因为目前 M2M 业务还不是移动运营商的核心业务。随着 M2M 业务在运营商营收中的比例提高，产业界会给与这些优化技术更多的重视，移动通信技术也终将会迎来更大的变革。