

认知蜂窝网络环境下的上行节能方法研究

马骁, 盛敏, 张琰, 李渝舟

(西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室 信息科学研究所, 陕西 西安 710071)

摘 要: 针对蜂窝网用户在高速数据传输时能耗过高的问题, 基于认知蜂窝网络模型, 提出了一种通过合理利用认知网络资源进行多网络并发传输的最大能效传输策略。该策略利用多模终端可以同时接入不同网络进行并发传输的特点, 建立用户能效模型, 并通过研究并发传输时不同网络可用信道状态、能耗和数据传输速率之间的关系, 得出使用户能效最大的认知网络资源使用和数据传输速率分配算法。仿真结果表明, 该最大能效策略能够有效提升用户的能效。

关键词: 认知蜂窝网络; 能量利用率; 并发传输

中图分类号: TP393

文献标识码: B

文章编号: 1000-436X(2012)Z2-0153-07

Energy saving in uplink cognitive cellular network

MA Xiao, SHENG Min, ZHANG Yan, LI Yu-zhou

(The State Key Lab of ISN & Information Science Institute, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: To solve the problem that high data rate transmission will cause extremely energy consumption of users, a maximum energy efficiency (EE) strategy, based on the cognitive cellular network model, was proposed by utilizing the cognitive resources and concurrent transmission. According to the characteristics that the multimode user equipment can connect with heterogeneous networks simultaneously, the proposed strategy, establishes the EE model and obtains the algorithm for selecting the cognitive resources and distributing the data rate by analyzing the relationship among the channel state information of available networks, energy consumption and data rate. Simulation results show that the proposed strategy can increase the EE of MUE efficiently

Key words: cognitive cellular network; energy efficiency; concurrent transmission

1 引言

随着个人无线网络的不断发展, 第 4 代无线通信系统(4G/IMT-A)、LTE 和 IEEE 802.16m 等蜂窝网络相继实现商用并进行大规模布网。诸如此

类的下一代无线通信系统(next generation wireless system)在提供高速传输速率的同时也进一步加剧了频谱资源的枯竭。另一方面, 已经分配的部分频谱利用率较低, 认知无线电(CR, cognitive radio)技术的出现, 使用户获得更多可用的频谱资源成

收稿日期: 2012-07-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60972048, 61172079); 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)基金资助项目(2009CB320404); 高等学校学科创新引智计划(“111”计划)基金资助项目(B08038); 国家科技重大专项基金资助项目(2012ZX03002009-003, 2012ZX03004002-003); 陕西省科学技术研究发展计划基金资助项目(2011KJXX-40)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (60972048, 61172079); The National Basic Research Program of China (973 Program) (2009CB320404); The 111 Project (B08038); The National Science and Technology Major Projects (2012ZX03002009-003, 2012ZX03004002-003); Shanxi Province Science and Technology Research and Development Program (2011KJXX-40)

为可能。

认知蜂窝网络^[1,2](cognitive cellular networks)将认知无线电技术应用于传统蜂窝网络，以此来解决蜂窝网络授权频谱不足的问题。随着 4G 网络的商用，虽然传统的 2G 用户逐渐向 4G 用户过渡，但在今后相当长的一段时期内依然会有大量的 2G 用户存在。所以，运营商将不得不面对同时维护多种不同网络的局面。例如，中国移动就要同时维护 GSM、TD-SCDMA 和 TD-LTE 等网络)。然而，对于运营商来说，随着 2G 用户的逐渐减少，GSM 网络将会出现频谱的空闲^[3]，这时具备认知功能的 4G 基站即可以在不影响 GSM 用户的前提下使用部分 GSM 的授权频段供 4G 用户使用，以此提高频谱的利用率，降低运营商的运营成本。

另一方面，对于用户来说，在享受高宽带带来的便捷同时，却不得不面对电池寿命缩短的现状。2010 年的一项调查表明，在中国，有 60% 以上的 3G 用户认为电池电量不足是困扰他们的最大问题^[4]。那么，要让用户能够真正使用诸如视频游戏、P2P 传输、移动 TV 和视频共享等新型多媒体业务，就势必要解决电池寿命的问题。这一问题可以通过 2 种途径解决：1) 发明新的电池技术，直接增大电池电量以此提升电池使用寿命；2) 通过新的数据传输策略降低终端及网络的能耗，以此间接提高电池寿命。本文主要讨论第二种方法。

当前的异构网络节能研究主要围绕动态规划和网络协作两方面进行^[5]。文献[6]提出了一种通过小区间协作在保证用户需求的前提下，调整小区覆盖半径的方法以达到节能的目的。文献[7]介绍了一种数据包调度策略，能够在满足用户服务质量的前提下，有效的减少用户侧能耗。更多关于网络协作节能的研究集中在通过关闭部分网络或资源来减少能量消耗、提高能量使用效率。文献[8]提出了 2 种休眠策略，通过关闭网络资源使得部分基站处于休眠状态以此达到节能目的。然而这种方法直接减少了可用资源的数量，势必会引起用户体验的下降和阻塞率的上升。

本文针对上述问题，首先描述了一种认知蜂窝网络模型，使得繁忙网络的用户(UE, user equipment)能够通过认知其他空闲网络的频谱资源进行传输。然后基于此种网络构架，研究了 UE 在传输时能耗和传输速率的关系。并进一步利用多模 UE 能同时

接入原本的授权频段和认知频段的特性，得出使多模 UE 能效(EE, energy efficient)最高的并发传输速率。

2 认知蜂窝系统模型

如图 1 所示为认知蜂窝网络系统模型。RAT1 和 RAT2 为同一运营商下的 2 个不同制式的蜂窝网络，2 个网络共同覆盖同一片物理区域，并且 2 种网络分别有各自的授权用户(例如中国移动的 GSM 网络和 TD-LTE 网络)。为了实现对异构蜂窝网络的认知和多网络并发传输，需要在现有网络架构中引入一个新的多网络无线资源管理实体(MRRM, multi-radio resource management)^[9]。MRRM 同时连接 RAT1 和 RAT2(由于 2 个网络属于同一运营商，使得 MRRM 的存在成为可能)，一方面保存 2 个网络资源使用情况，另一方面执行分流策略将下行的数据流分配至各个网络中进行并行传输，或者将上行从各个网络中传输来的数据进行合并之后传给核心网(CN, core network)^[10]。

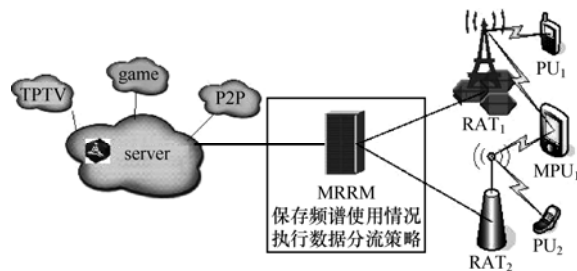


图 1 认知蜂窝网络系统模型

从图 1 中可以看出，在认知蜂窝网络中存在 3 类用户：1) RAT1 网络注册的单模用户(即 RAT1 网络的合法用户，并只能在 RAT1 网络进行传输，简称 PU_1)；2) RAT1 网络注册的多模用户(即 RAT1 网络的合法用户，配备多套独立的收发设备，能同时不同网络进行并发传输，简称 MPU_1)；3) RAT2 网络注册用户(即 RAT2 网络的合法用户，简称 PU_2)。其中 MPU_1 用户，在 RAT1 网络为主用户(primary users)，可以直接使用 RAT1 网络资源进行传输，而在 RAT2 网络为次级用户(secondary users)，需要对 RAT2 网络状态进行认知，在不影响 PU_2 的前提下可以使用 RAT2 网络资源进行传输。

当 MPU_1 做高速数据传输业务时，首先通过 RAT1 网络作为主用户直接申请资源进行传输，同时检测 RAT2 网络是否有空闲资源可用，如有则通

过 RAT1 向 MRRM 申请该资源的使用权。如该资源空闲，则 MRRM 允许 MPU₁ 使用，并更新资源使用数据库。此时 MPU₁ 将同时与 RAT1 和 RAT2 分别建立连接，将数据分组分别从 2 个网络进行传输，并在 MRRM 处进行合并后传输至 CN，即在 RAT1 和 RAT2 上进行并发传输。

假设 RAT2 网络的授权用户 PU₂ 占用网络资源的过程可以被建立为一个 ON/OFF 更新过程。当某个 PU₂ 用户有新呼叫到达时，即此 PU₂ 转变为 ON 状态时，MRRM 会优先向 PU₂ 分配空闲的资源。当没有空闲的资源时，MRRM 会通知 MPU₁ 释放所占用的 RAT2 资源，并将释放后的资源分配给 PU₂，从而达到不影响 PU₂ 用户的目的。

3 最大能效并发传输策略

这一节主要针对终端在进行高速上行业务时高能耗的问题，提出利用认知空闲信道进行并发传输，使得终端能效最大化的方法。

3.1 能效模型

对于一个加性高斯白噪声(AWGN)信道来说，根据香农公式可得传输速率为

$$R \leq B \log \left(1 + \frac{Pg}{N_0 B} \right) \quad (1)$$

其中， P 为发送功率， g 为信道功率增益， N_0 表示所占信道上的噪声， B 为带宽。则传输速率和功率之间有如下关系。

$$P = (2^{\frac{R}{B}} - 1)(N_0 B / g) \quad (2)$$

进一步，定义能效 η_{EE} 为单位能量(J)能发送的数据量(bit)^[11]，单位为比特每焦耳(bit/J)，则 η_{EE} 可表示为

$$\eta_{EE} = \frac{R}{P_{UE}} = \frac{R}{(2^{\frac{R}{B}} - 1)(N_0 B / g) + P_{cst}} (b/j) \quad (3)$$

其中， P_{UE} 是 UE 在进行数据传输时的总能耗，由数据传输的能耗和 P_{cst} 组成。 P_{cst} 表示 UE 的硬件设备为维持传输正常进行所消耗的静态能耗^[8]，这部分能耗只要 UE 的收发设备处于工作状态就会产生，并且不随传输速率的变化而变化。

3.2 最大能效并发传输模型

假设通过第 2 节中的蜂窝网认知方法，MPU₁ 共认知到 $K-1$ ($K \geq 2$) 个可用的网络(连同自身合法注册的网络共有 K 个可用网络)，令 $j = \{R_1,$

$R_2, \dots, R_K\}$ 表示 MPU₁ 传输的数据速率向量，其中 R_i 表示第 i 个网络传输的数据速率， $R_i = 0$ 表示不使用第 i 个网络进行传输。所以，可以将 MPU₁ 传输时的最大总能效使用如下的带约束的最优化公式求出

$$\begin{aligned} \max \eta_{EE} &= \frac{\sum_{i=1}^K I(R_i) R_i}{\sum_{i=1}^K I(R_i) P_{iMPU_1}} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^K I(R_i) R_i}{\sum_{i=1}^K ((2^{\frac{R_i}{B_i}} - 1)(N_0 B_i / g_i) + I(R_i) P_{icst})} (b/j) \quad (4) \end{aligned}$$

$$s.t. R_{req}(t) = \sum_{i=1}^K I(R_i) R_i(t) \quad (5)$$

$$R_i(t) \geq 0 \quad (6)$$

$$I(R_i) = \begin{cases} 0, & R_i = 0 \\ 1, & R_i > 0 \end{cases} \quad (7)$$

其中， P_{iMPU_1} 表示 MPU₁ 在第 i 个网络传输时所消耗的功率。 B_i 和 g_i 分别为第 i 个网络的可用带宽和对应的信道增益。 $I(R_i)$ 为示性函数，表示第 i 个网络是否被使用，如式(7)所示，当 R_i 为 0 是，表示该网络不被使用， P_{iMPU_1} 无需开启对应的收发设备，即第 i 个网络的静态功率 P_{icst} 无需计算在总功率中，此时 $I(R_i)$ 值为 0，反之为 1，即 P_{icst} 需要被完全计入总功率。限制条件式(5)表明在所有网络中传输的数据速率总和要等于用户需要传输的速率 R_{req} 。限制条件式(6)保证了数据传输速率的非负性。

3.3 最优传输策略

将式(5)代入式(4)可将最优化的目标函数化简为式(8)。

$$\min P_{MPU_1}(j) = \sum_{i=1}^K \left(\frac{N_0 B_i}{g_i} (2^{\frac{R_i}{B_i}} - 1) + I(R_i) P_{icst} \right) \quad (8)$$

显然，由于 $I(R_i)$ 的存在，使得这一问题成为一个整数规划问题，为求解带来了困难。不失一般性，假设 MPU₁ 为使用每一种网络进行传输所需消耗的电路上的功率相等，即所有网络的 $P_{icst} = P_{cst}$ 。那么对于所有使用的网络由于 P_{cst} 是常数，所以 P_{cst} 对于最优传输速率没有影响，所以问题(8)可以分为 2 个相对独立的新问题：1) 寻找哪些网络应该被使

用; 2) 在应该被使用的网络中如何分配传输速率能使功率消耗最少。下面将分别求解这 2 个问题。

3.3.1 最优传输速率

假设已知在 K 个认知到的可用网络中选取其中的 N 个进行并发传输, 即这 N 个网络对应的传输速率 $R_i > 0$ 。令 $j_N^* = \{R_i^* | i=1,2,L,N\}$ 为 N 个进行传输的网络能耗最小时对应的最优数据传输速率, 对应的最小能耗为 $P_{MPU_1}^*$ 。那么, 对于进行传输的网络, 如果将任意小的传输速率 $\delta > 0$ 从网络 i 转移至网络 j , 由于 j_N^* 为最优传输速率, 则转移后 MPU_1 的总能耗 P'_{MPU_1} 将至少不会下降, 即 $P'_{MPU_1} \geq P_{MPU_1}^*$ 。令 $\partial P(j)/\partial R_i$ 表示 MPU_1 功耗对于网络 i 传输速率的偏导, 则功耗的变化量可以用如下公式表示。

$$\delta \frac{\partial P(j^*)}{\partial R_j} - \delta \frac{\partial P(i^*)}{\partial R_i} \geq 0, (\forall i, j \neq i) \quad (9)$$

由于 i 的任意性, 则当参与并发传输的 N 个网络处于最优传输速率 j_N^* 时, MPU_1 的功耗对于任意网络 i 的传输速率的偏导在 R_i^* 处的值都将小于等于其他网络对应的值, 所以在 j_N^* 处有式(10)所示的关系成立。

$$\frac{\partial P(j^*)}{\partial R_1} = \frac{\partial P(j^*)}{\partial R_2} = L = \frac{\partial P(j^*)}{\partial R_N} \quad (10)$$

将式(10)与式(5)联立, 得如下方程组, 即能得出 N 个网络分别的最优传输速率 j_N^* 。

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & L & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & L & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L & 0 & 0 \\ M & M & M & 0 & M & M \\ 0 & 0 & 0 & L & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial P(j^*)}{\partial R_1} \\ \frac{\partial P(j^*)}{\partial R_2} \\ M \\ \frac{\partial P(j^*)}{\partial R_N} \end{pmatrix} = (0) \\ R_{req} = \sum_{i=1}^N R_i \end{cases} \quad (11)$$

3.3.2 最优传输网络选择

上一节中的最优传输速率是在已知参与传输的网络的前提下得到的, 所以决定哪些网络应该参与并发传输最终决定了 MPU_1 的能效。如果选择了不恰当的网络进行传输, 势必会造成能量的浪费。

考虑到整数规划直接求解的复杂度较高, 精度较差, 而实际中认知蜂窝网络的网络数量一般较

小, 结合能耗的物理含义, 下面提出一种适用于认知蜂窝网络中能效最大化的网络选择策略。

定理 1 若在 MPU_1 认知到的可用网络中, 网络 i 的可用信道 B_i 对应的信道功率增益 g_i 大于网络 j 的可用信道 B_j 对应的信道功率增益 g_j (即 $g_i > g_j$), 则为获得最大能效, 网络 i 会先于 j 被使用, 并且当网络 i 的传输速率满足式(12)时, 网络 j 将同时被使用。

证明 根据式(10)可知, 当 2 个网络均被使用时, 即 $R_{i,j}^* > 0$ 时, 有 $\frac{\partial P(j^*)}{\partial R_i} = \frac{\partial P(i^*)}{\partial R_j}$ 。

否则, 假设仅使用网络 j , 则根据式(9)可得: $\partial P(0)/\partial R_i \geq \partial P(R_j)/\partial R_j$ 。将 $dP(R)/dR = (N_0/g)2^{\frac{R}{B}} \ln 2$ 代入, 在 $R_j \rightarrow 0$ 时, 可得 $(N_0/g_i) \ln 2 > (N_0/g_j) \ln 2$, 即 $g_i < g_j$, 与已知 $g_i > g_j$ 矛盾, 所以网络 i 会先于 j 被使用。

更进一步, 当网络传输 i 的速率 R_i 逐渐增加到 $\partial P(R_i)/\partial R_i > \partial P(0)/\partial R_j$ 时(即 $R_i > B_i \ln(g_i/g_j)$), 则应当同时开始使用网络 j 进行传输。考虑到新网络的使用会带来静态能耗 P_{cst} 的突变, 所以这里应该对开始使用网络 j 进行传输的速率进行修正, 则当速率满足式(12)时应当开始使用网络 j 。

$$R_i > B_i \ln\left(\frac{g_i}{g_j}\right) + B_j \ln\left(1 + \frac{P_{cst} g_i}{N_0 B_i}\right) \quad (12)$$

根据上述定理可得最大能效并发传输策略, 具体算法如下。

认知蜂窝网络最大能效并发传输算法

- 1) 初始化所需变量, $\alpha = 0, j = 0$ 。
- 2) 将认知到的网络可用信道信息按信道功率增益进行排序, $g_{BS1} \geq L \geq g_{BSi} \geq L \geq g_{BSK}$ 。
- 3) $\alpha = \alpha + 1$, 根据定理 1 可知, 为得到最大能效, 排在前面的网络肯定会比排在后面的网络首先被使用, 这里的 α 表示被使用的网络数量, 也就是哪些网络被使用。
- 4) 将使用的网络对应的传输速率用式(11)算出, 未使用的网络传输速率为 0。
- 5) 判断第 α 个网络的数据传输速率是否满足式(12), 如果是则需要将第 $\alpha + 1$ 个网络加入并发传输中, 转回步骤 3); 如果否转入步骤 6)。
- 6) 使用前 α 个网络进行并发传输能获得最优

的功率效率，最优传输速率用式(11)算出。

7) 算法结束。

3.4 最大能效传输策略实现方案

如图 2 所示为最大能效传输策略的工作原理框图。当 MPU 申请高速数据传输时，首先通过认知功能获得可用网络信息，并告知 MRRM 并取得对应网络资源的使用权限。确定可使用的网络后，各 RAT 开始周期性的测试 MPU 所使用的信道状态(包括可用的信道带宽 B 和信道功率增益 g 等)，并将测试结果告知 MRRM。MRRM 收到所需信息后通过上述最大能效并发传输算法计算出参与并发传输的网络和所承载的数据速率。进一步通过式(13)算出每个使用的网络对应的分流比例 ϕ ，并将该比例通过 MPU 的主授权网络传输给 MPU。

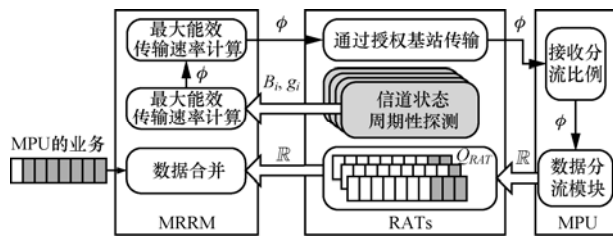


图 2 最大能效策略原理

MPU 收到 ϕ 后即将高速数据业务按照该比例分流至对应的网络进行传输，则此时每个网络承载的数据速率即为最大能效传输策略计算出的最优传输速率。

这种实现方案将主要的信道状态测量和最优策略计算等工作放在网络侧进行，最大程度的简化了计算能力较弱的终端用户的负载。同时，周期性的信道状态测试能够适应无线信道时变的特性，特别是当 MPU 处于高速移动、信道状态变化较快时，只需要将信道状态探测周期相应缩短，即可保证算法的最优性。

$$\phi_i = R_i / R_{req} \quad (13)$$

4 仿真结果与分析

4.1 参数设定

本章在前面分析的基础上，以同一运营商下的 LTE 和 GSM 融合网络场景为例进行了仿真。MPU₁ 为 LTE 网络的合法授权用户，同时配备 GSM 网络的收发设备，当 MPU₁ 处于 LTE 的 eNodeB 和 GSM 的 BTS 重叠覆盖的区域时，可以认知到 GSM 网络的空闲信道资源，并同时接入到两个网络进行并行数据传输。其中 GSM 网络每个信道带宽为 200kHz，

LTE 网络每个 PRB 带宽为 180kHz，噪声功率谱密度 $N_0 = 10^{-9}$ W/Hz，静态功率 $P_{est} = 6$ mW。

4.2 仿真结果分析

4.2.1 数据速率及网络性能的影响

如图 3 所示为 2 个网络可用信道状态一定时，用户业务需求数据传输速率变化对能效的影响。LTE 网络为 MPU₁ 分配了一个可用信道，信道功率增益为 0.008。MPU₁ 在 GSM 网络也认知到一个可用的空闲信道，信道功率增益为 0.004。图中横坐标为用户业务需求的总数据传输速率，从 100kbit/s 逐渐增加到 600kbit/s，纵坐标为用户的能效。等比例并发传输策略指以 2 个网络的传输带宽为固定比例进行分流的并发传输策略，是目前并发传输中常用的分流策略^[9]。

从图 3 中可以看出，当用户业务的传输速率较小时，最大能效策略和 LTE 单网传输性能相同，原因是这时传输速率小于式(12)所示的速率，此时最大能效策略也只使用了 LTE 一个网络进行传输。而随着用户速率的逐渐增加，MPU₁ 认知到的 GSM 网络的空闲信道加入了并发传输，最大能效策略将用户业务速率根据式(11)的结果在 LTE 和 GSM 网络之间进行分流，使得最大能效策略的性能优势逐渐体现出来。同时可以看出，最大能效策略一直优于等比例传输策略，可见等比例传输策略的分流算法并不能达到能效的最优。但由于在等比例传输策略中 GSM 网络还是卸载了一部分数据量，所以在用户速率较大时，性能还是要优于 LTE 单网络传输的。

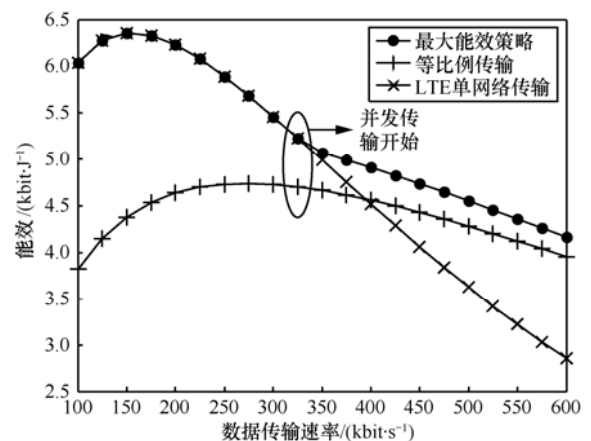


图 3 不同用户传输速率下的能效对比

如图 4 所示为上述场景中 2 个网络分别承载的数据传输速率。2 个网络的速率之和为用户业务需求的传输速率。与图 2 相应，在速率较低时 LTE 承

载了所有的数据量，随着用户速率的增加 GSM 网络也进行了传输。图中 LTE 网络的传输速率在并发传输开始的点上会出现一个拐点，这是由于存在静态功耗 P_{cst} ，需要对并发传输的开始的门限速率进行修正导致的。如果 $P_{cst} = 0$ 则并发传输的开始点将会提前，2 个网络的传输速率将单调变化，拐点将不复存在。

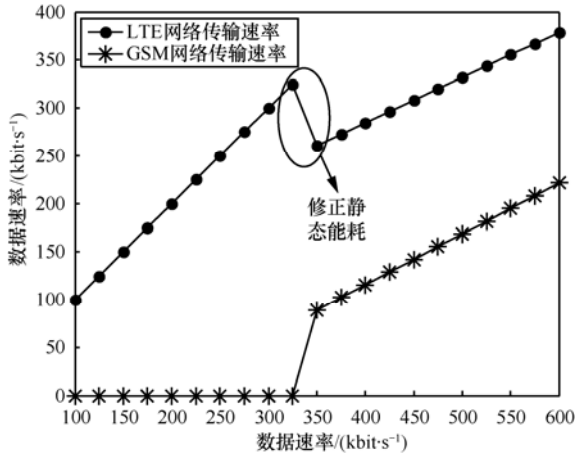


图 4 最大能效策略不同网络传输速率对比

如图 5 所示为 LTE 和 GSM 网络均只有一个信道可用时，GSM 网络可用信道的信道功率增益从 0.004 逐渐变化到 0.007 时的能效变化情况。用户业务速率为 300kbit/s。可以看出随着次级网络的信道功率增益增加，3 种传输方式的功效都有所增加，但是最大能效策略依然优于其他 2 种。

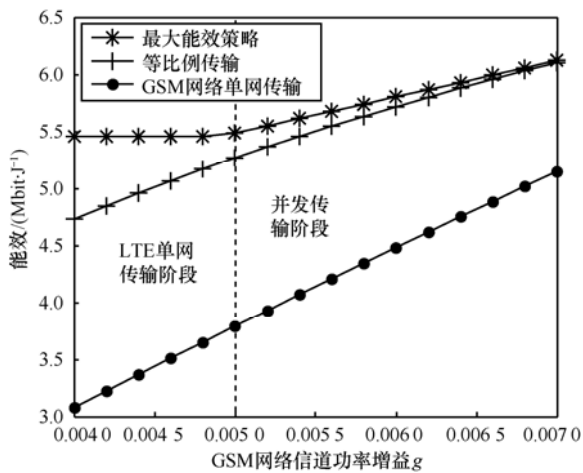


图 5 不同信道功率增益 g 的能效对比

显然，图 4 由一条虚线分为左右 2 个部分。虚线左边为 LTE 单网传输阶段，在这个阶段中由于 GSM 网络的信道功率增益较低，所以并未用来传

输。随着 GSM 网络的信道功率增加的逐渐增大到虚线的右边，此时最大能效策略才开始使用 GSM 网络的空闲信道进行并发传输。

如图 6 所示为不同认知网络可用信道资源数量对能效的影响。其中 LTE 网络有 2 个可用的 PRB， MPU_1 认知到的 GSM 网络可用信道数从 1 个逐渐变化到 11 个，用户业务速率为 600kbit/s。与图 4 相似，图 5 依然被分为左右 2 个部分，在左边由于 GSM 网络可用资源较少，此时单独使用 LTE 网络传输会得到较高的能效。从图中可以看出，最大能效策略依然有最优的性能，但随着可用信道数量的增多，能效的提升并不明显，可见与信道功率增益相比，带宽的影响要小的多，这与之前的理论相符。

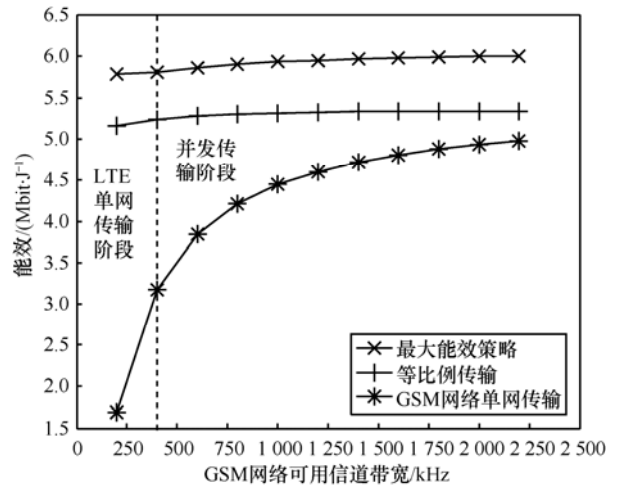


图 6 不同 GSM 网络可用带宽的能效对比

从仿真中可以看出，并发传输并不是在所有情况下都比单网传输有更好的性能，只有当 GSM 网络的资源状态满足特定的情况时， MPU_1 才应该使用认知网络资源进行并发传输。

4.2.2 GSM 网络主用户的影响

如前文所述，GSM 网络主用户对信道的占用可以描述成一个 ON/OFF 模型，这里定义占空比 = $T_{ON} / (T_{ON} + T_{OFF})$ ，其中 T_{ON} 和 T_{OFF} 分别表示 GSM 网络主用户处于 ON 期和 OFF 期的时间。如图 7 所示为 GSM 网络主用户占空比变化时对 MPU_1 能效的影响。可以看出最大能效策略依然有最优的能效性能。但是随着占空比的增大，即 GSM 网络主用户对信道的占用时间增长，最大能效策略的性能优势逐渐减小。当占空比为 1 时，即 GSM 网络主用户完全占用信道资源，这时 MPU_1 只能使用 LTE 自身的资源进行传输，则此时的最大能效传输策略的性能与 LTE 单网络传输相同。

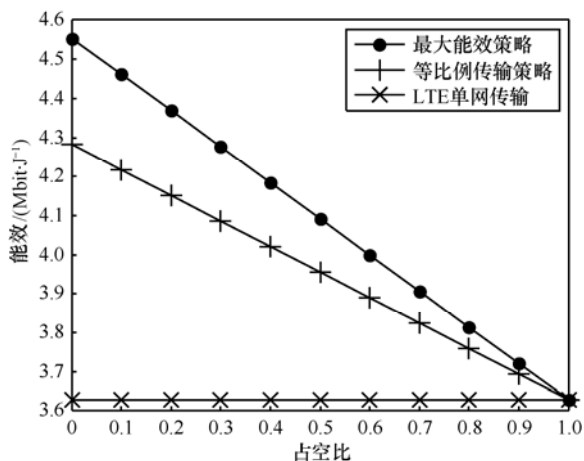


图7 不同 GSM 网络主用户占空比的影响

5 结束语

本文基于认知蜂窝网络模型, 针对新型多媒体业务耗电量大, 电池寿命降低的问题, 提出了一种利用认知蜂窝网络获得的可用空闲信道资源进行并发传输节能的策略, 并建立最优化模型对并发传输时网络的选择和数据速率的分配进行求解。最后, 大量仿真结果表明, 本文提出的最大能效并发传输策略能够有效的降低能量消耗, 提高能量利用率。

参考文献:

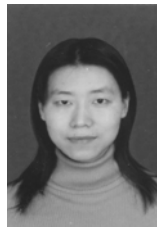
- [1] LEE W Y, AKYILDIZ I F. Spectrum-aware mobility management in cognitive radio cellular networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2012, 11(4): 529-542.
- [2] YOUNG J C, SHIN K. Opportunistic access of TV spectrum using cognitive-radio-enabled cellular networks[J]. Vehicular Technology, IEEE Transactions on, 2011, 60(8): 3853-3864.
- [3] SAKER L, ELAYOUBI S, Scheck H. System selection and sleep mode for energy saving in cooperative 2G/3G networks[A]. Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2009-Fall)[C]. USA, 2009, 1-5.
- [4] <http://zdc.zol.com.cn/201/2019387.html>[EB/OL]. 2010.
- [5] Bianzino A, Chaudet C, Rossi D, *et al.* A survey of green networking research [J]. Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2012, 14(1): 3-20.
- [6] NIU Z, ZHOU S, HUA Y, *et al.* Energy-aware network planning for wireless cellular system with inter-cell cooperation[J]. Wireless Communications, IEEE Transactions on, 2012, 11(4):1412-1423.

- [7] XI L Z, CHENGZHONG X. Energy-efficient wireless packet scheduling with quality of service control[J]. Mobile Computing, IEEE Transactions on, 2007, 6(10): 1158-1170.
- [8] SAKER L, ELAYOUBI S, CHAHED T. Minimizing energy consumption via sleep mode in green base station[A]. Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2010 IEEE[C]. Sydney, Australia, 2010. 1-6.
- [9] ALESSANDRO B, GIANNI P, ORESTE A. Multiradio resource management: parallel transmission for higher throughput[J]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2008, (1).
- [10] FERRUS R, SALLENTO O, AGUSTI R. Interworking in heterogeneous wireless networks: comprehensive framework and future trends[J]. Wireless Communications, IEEE, 2010, 17(2): 22-31.
- [11] Akbari A, Imran M, Tafazolli R, *et al.* Energy efficiency contours for single-carrier downlink channels[J]. Communications Letters, IEEE, 2011, 15(12): 1307-1309.

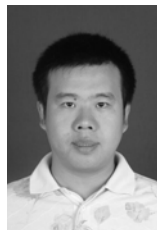
作者简介:



马晓 (1984-), 男, 陕西咸阳人, 西安电子科技大学博士生, 主要研究方向为无线通信、异构网络融合等。



盛敏 (1975-), 女, 湖南长沙人, 博士, 西安电子科技大学教授、博士生导师, 主要研究方向为移动 ad hoc 网络、QoS 保障技术、认知网络等。



张琰 (1983-), 男, 河南开封人, 博士, 西安电子科技大学讲师, 主要研究方向为无线分布式网络、协作通信、认知网络。

李渝舟 (1986-), 男, 重庆万州人, 西安电子科技大学博士生, 主要研究方向为跨层设计、无线网络资源分配、随机网络优化等。