DOI: 10.3969/j.issn.1009-6868.2017.01.004
网络出版地址：http://www.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20161228.1509.002.html

NB-IoT 系统资源调度研究

Resource Scheduling for NB-IoT

邱刚/QIU Gang
陈宪明/CHEN Xianming
戴博/DAI Bo
（中兴通讯股份有限公司，广东 深圳 518057）
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

中图分类号：TN929.5 文献标志码：A 文章编号：1009-6868 (2017) 01-0015-006

摘要： 结合窄带物联网（NB-IoT）系统的上下行帧结构、复用方式、调度单元的特点，提供了适用于NB-IoT系统的资源调度的设计方案，包括非连续的下行调度、动态的上下行调度定时以及跨多个调度单元的上下行资源分配。采用上述方案，避免了在极端或增强覆盖场景下，因下行资源的连续占用所导致的对其他终端设备的上下行授权和下行业务传输的阻塞以及下行控制资源的浪费，同时确保了相对灵活的资源分配。

关键词： 调度定时；资源分配；覆盖增强

Abstract: In terms of the features of uplink (UP)/downlink (DL) frame structure, multiplexing method and scheduling unit used by narrowband IoT（NB-IoT）, the design schemes for resource scheduling, which is suitable for NB-IoT is proposed in this paper, including discontinuous DL scheduling, dynamic DL/UL scheduling timing and DL/UL resource allocation across multiple scheduling units. Based on the above schemes, the blocking of the transmission of DL/UL grant and DL traffic to other users caused by the continuous occupation of DL resource for enhanced or extreme coverage and the waste of DL control resource can all be avoided, and relative flexible resource allocation can be ensured.

Keywords: scheduling timing; resource allocation; coverage enhancement

为满足蜂窝物联网（IoT）需求，设计新的窄带物联网（NB-IoT）接入系统在第3代合作伙伴计划（3GPP）组织第69次全会中被提出。NB-IoT系统关注低复杂度和低吞吐量的射频接入技术，主要研究目标包括：改善的室内覆盖、巨量低吞吐量用户设备的支持、较低的延时敏感性、超低设备成本、低的设备功率损耗以及网络架构。NB-IoT系统的上下行的发射带宽都是180 kHz，与长期演进（LTE）系统的一个物理资源块（PRB）的带宽相同，这有利于在NB-IoT系统中重用现有LTE系统的有关设计。NB-IoT系统支持3种操作模式：独立操作，例如利用增强数据速率全球移动通信演进无线接入网（GERAN）系统使用的1个或多个全球移动通信系统（GSM）载波；保护带操作，例如利用在LTE载波的保护带范围内未被使用的资源块；带内操作，例如利用在正常LTE载波范围内的资源块[1]。

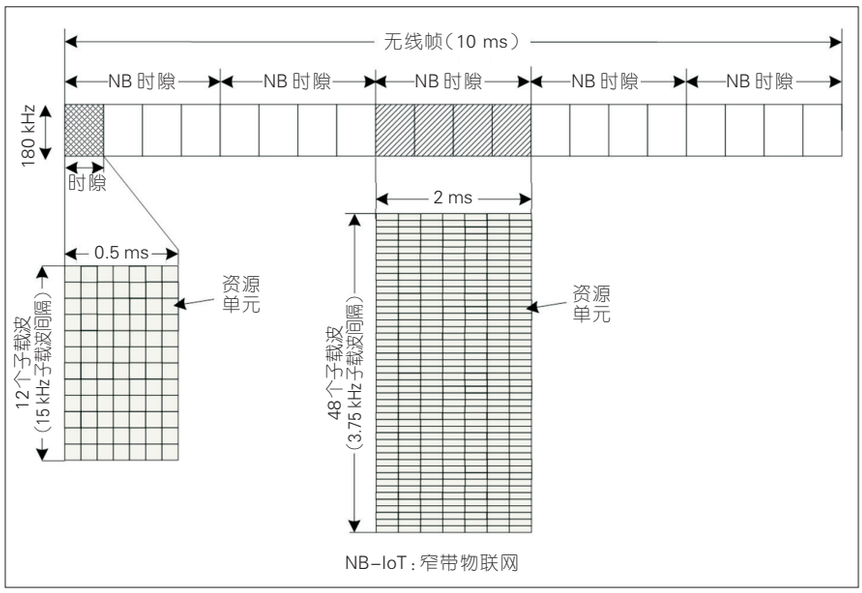
文章中，我们主要关注NB-IoT系统的资源调度设计。资源调度是无线通信系统物理层设计的重要方面。不同的帧结构、复用方式和调度单元适用不同的资源调度设计方法；此外，在上述帧结构、复用方式和调度单元中，后项在一定程度上受到前项的影响。基于上述原因，我们首先介绍NB-IoT系统上下行的帧结构、复用方式和调度单元，这是后续资源调度设计的基础；然后，基于上述确定的帧结构、复用方式和调度单元，分析适用于NB-IoT系统下行的非连续调度方式，上下行的调度定时以及上下行的资源分配方案。

1 NB-IoT帧结构

为支持带内操作模式，NB-IoT系统下行仍采用15 kHz子载波间隔，多址方式仍重用正交频分多址（OFDMA）方式；系统的下行帧结构、时隙结构、资源格和资源单元定义与LTE相同，只是在频域上仅包含12个连续子载波（对应1个资源块）。NB-IoT系统的上行同时支持3.75 kHz和15 kHz两种子载波间隔，多址方式仍重用单载波频分多址（SC-FDMA）方式。采用3.75 kHz的子载波间隔只支持单载波的调度，而15 kHz子载波间隔同时支持单载波和多载波的调度。对于15 kHz的子载波间隔、帧结构与LTE相同；为更好适配3.75 kHz的子载波间隔，新的长度为2 ms的窄带时隙结构被定义，如图1所示，一个无线帧包含5个窄带时隙，每个窄带时隙包含7个正交频分复用

收稿时间：2016-11-15
网络出版时间：2016-12-28

D:\MAG\2017-02-132/VOL23\F3.VFT——6PPS/P1



▲图1 NB-IoT 系统上行帧结构

（OFDM）符号[1]。

2 NB-IoT 复用方式

基于已确定的帧结构，窄带物理下行控制信道（NPDCCH）和窄带物理下行共享信道（NPDSCH）以及不同NPDSCH的复用能够只按照时分复用（TDM）方式，或按照TDM和频分多路复用（FDM）的方式。前者实现简单，标准化影响小且具有更好的后向兼容性。为支持后者，除NPDCCH以外，NPDSCH也必须支持子载波级别的资源分配，这会导致较大的标准化影响。采用固定的FDM图样会导致资源浪费，而采用动态的FDM图样虽然具有更好的灵活性但控制开销较大。另外，对于下行，支持子载波级的资源粒度并不能带来覆盖提升和显著的调度增益，反而会导致调度的复杂度和资源的碎片化。基于上述的分析，最终NB-IoT标准规定在NPDCCH与NPDSCH之间以及在不同NPDSCH之间的复用只采用TDM的方式，这直接决定了NPDCCH以及与其相关的上下行调度的整体机制[2]。与下行不同，为实现更高的用户容量或复用程度以及扩展的上行覆盖，上行需要支持单载波的调度，所以不同的窄带物理上行共享信道（NPUSCH）之间允许采用FDM的复用方式。

3 NB-IoT 调度单元

由于NB-IoT系统的下行只支持不同NPDSCH之间以TDM方式复用资源，所以NPDSCH的调度自然应该以子帧为单位。对于NB-IoT系统上行，当子载波间隔为3.75 kHz时，考虑到不管是针对承载上行业务还是混合自动重传请求确认信息（HARQ-ACK）的NPUSCH都只支持单载波调度，最终用于上行业务和HARQ-ACK调度的调度单元大小可以分别确定为32 ms（16个窄带时隙）以及8 ms（4个窄带时隙）。当子载波间隔为15 kHz时，对于承载上行业务的NPUSCH，调度单元的划分原则是：对于不同的频域子载波数，一个调度单元中有效的资源单元数量应该尽可能保持一致，同时还要保证时域长度恰好是2的整数幂。上述方法有助于在对应不同的频域子载波数的调度单元共享上行资源的情况下，降低资源的碎片率。基于上述原则，对应不同子载波数的调度单元的大小，如表1所示。对于承载HARQ-ACK的NPUSCH，只有单载波调度被支持，最终用于HARQ-ACK调度的调度单元大小确定为2 ms（即2个子帧）[3-4]。

4 NB-IoT 非连续下行调度

为达到NB-IoT系统最大20 dB的覆盖提升需求，对于带内操作，NPDCCH需持续时间为200～350 ms的重复传输，NPDSCH需要持续时间为1 200～1 900 ms的重复传输。对于独立操作，NPDCCH需要持续时间为20～100 ms的重复传输，NPDSCH需持续时间为200～300 ms的重复传输。在覆盖增强场景下，如果资源被NPDCCH或NPDSCH连续占用，将会导致以下的两个问题：阻塞与其他终端设备有关的下行授权和下行业务的传输；阻塞与其他终端设备有关的上行授权的传输。尽管NB-IoT系统支持多载波的操作，但由于多载波操作是半静态配置的，上述阻塞问题并不能被有效地解决。此外，对于不支持多载波操作的场景，上述阻塞问题将更为突出。如图2所示，如果下行资源被分配给一个增强覆盖类型终端设备的NDPCCH和其调度的NPDSCH连续占用，此时在上述载波上的其他终端设备，尤其是非增强覆盖类型终端设备的下行业务传输会被阻塞，并且其他终端设备的上行授权也会被阻塞，进而导致上行资源的浪费[5]。

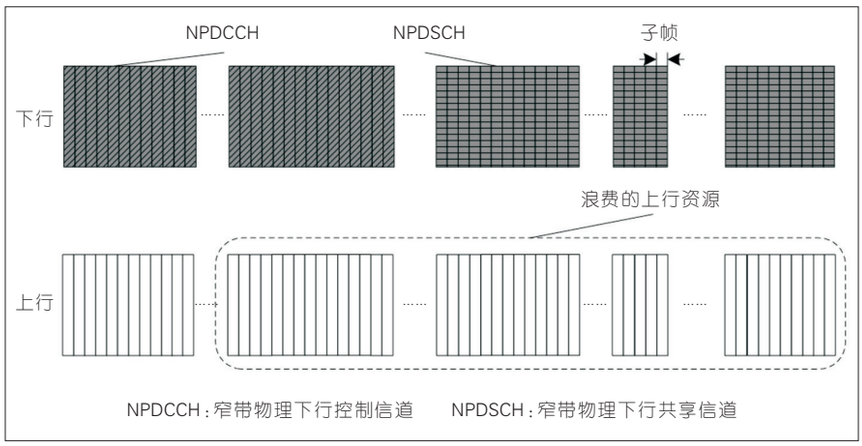
为解决上述阻塞问题，将使用较大重复传输次数的NPDCCH和NPDSCH调度至非连续的子帧上是一个有效的解决方案。具体地，对于NB-IoT系统，实现上述的下行非连续资源调度的方式主要包括以下几种：

（1）直接以终端专有方式在一次重复传输中引入下行传输间隙[6]；

▼表1 不同子载波数的调度单元的大小

子载波数	调度单元大小/ ms
12	1
6	2
3	4
1	8

D:\MAG\2017-02-132/VOL23\F3.VFT——6PPS/P2



▲图2 下行资源被NPDCCH和NPDSCH连续占用

（2）直接以小区专有方式定义下行传输间隙的周期和大小；

（3）通过预先设置调度窗的方式实现非连续调度[5]。调度窗类似于将LTE系统带宽的频域调度范围转换到时域上进行调度。较大重复次数的NPDCCH和NPDSCH只占用周期性出现的调度窗内的部分子帧，这使得其他正常覆盖终端设备的NPDCCH和NPDSCH能够在调度窗范围内的其他子帧资源中被调度，如图3中所示。

如果非连续调度（或下行传输间隙）不具有统一或小区专有的周期性，将对需要连续调度的信道数据（尤其是在正常覆盖或中等覆盖条件下）造成严重的冲突影响，所以非连续调度适合以小区专有的方式定义周期。另外，再考虑到引入调度窗的标准化复杂度，基于小区专有方式定义传输间隙的周期和大小以实现非连续的下行调度是相对更优的解决方案。需要说明的是，非连续的下行调度只适用于处于极端覆盖的终端设备，即仅针对配置的NPDCCH最大重复次数大于等于阈值的NPDCCH和NPDSCH应用；对于处于正常覆盖和中等覆盖的终端设备，作为传输间隙的子帧仍然被视为有效子帧。上述方法有效阻止了极端或增强覆盖终端设备的下行传输对正常和中等覆盖终端设备的上下行信道传输的阻塞。

为尽量保证使用较大重复次数的传输，可以配置出适合的间隙取值留给较小重复次数下行信道的连续传输，传输间隙的周期和大小的取值从下行信道的重复次数集合中[7]选取。如图4所示，传输间隙的周期被配置为256 ms，传输间隙的大小被配置为周期大小的1/4（即64 ms）。

5 NB-IoT调度定时

5.1 下行调度定时

5.1.1 NPDCCH与NPDSCH定时

由于NPDCCH与NPDSCH是以TDM方式复用且位于不同的子帧中，与LTE系统中物理层下行控制信道（PDCCH）调度在同一子帧的物理下行共享信道（PDSCH）不同，NPDCCH需跨子帧调度NPDSCH。跨子帧调度包括采用固定调度定时和采用动态调度定时的跨子帧调度[8]。考虑到在NB-IoT系统中的1个子帧最多传输两个NPDCCH，而NPDSCH最小占用1个子帧，采用固定调度定时可能导致控制资源的浪费或资源阻塞，采用动态调度定时的跨子帧调度是相对更优的解决方案。其次，在方案确定的

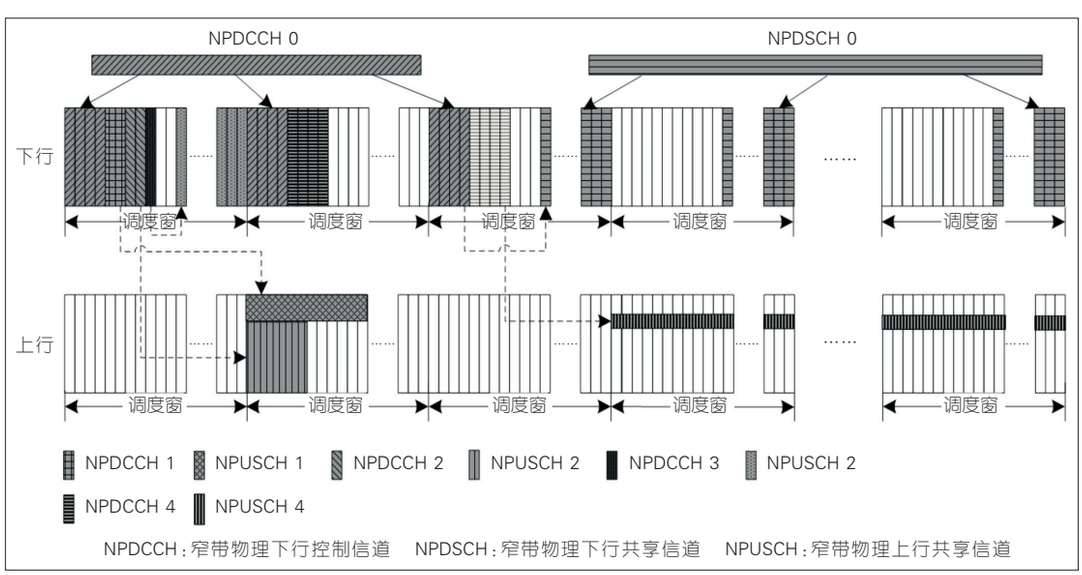
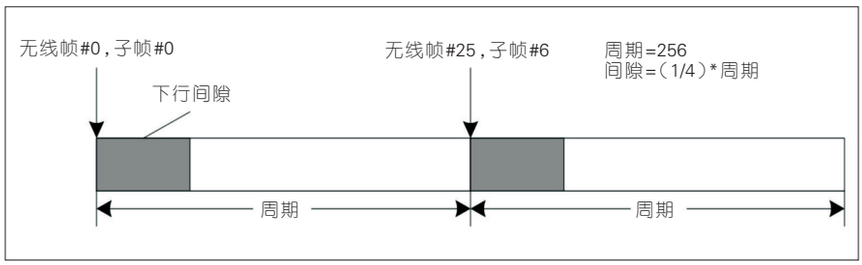


图3▶ 采用NPDCCH和NPDSCH的非连续下行调度

D:\MAG\2017-02-132/VOL23\F3.VFT——6PPS/P3



▲图4 下行传输间隙配置示例

过程中，关于调度定时间隔的定义还存在两个选项：调度定时间隔是从NPDCCH传输结束至NPDSCH传输的开始；调度定时间隔是从NPDCCH对应搜索空间的开始至NPDSCH传输的开始。由于后者的定义可能导致部分指示状态无效及一些定时间隔取值可能不适用于NPDSCH重复传输，最终基于前者的调度定时间隔是相对更优的解决方案。

关于如何指示调度定时间隔，存在3种方式：

（1）独立指示调度定时间隔取值，以子帧为单位；

（2）基于调度窗的定义，使调度定时间隔以及资源分配联合编码指示[9]；

（3）指示调度定时间隔取值为下行控制信息（DCI）的重复次数的相关倍数。

由于调度窗的定义没有被标准引入，最终采用方式1与方式3的折中将是相对更优的解决方案。例如针对配置给终端设备的NPDCCH最大重复次数是否大于门限值，分别给出两组调度定时间隔取值，从而同时兼顾正常和增强覆盖的调度定时。

5.1.2 NPDSCH与HARQ-ACK定时

在NPDSCH与HARQ-ACK之间的定时是通过DCI指示的时域偏移确定。对于不同的子载波间隔，HARQ-ACK传输对应的调度单元大小不同，所以针对两种不同子载波间隔的时域偏移指示信令[10]应该被独立设计。其次，关于时域偏移的参考点包括两种方案：

（1）设置固定的时域偏移参考点周期，终端设备根据NPDSCH传输的结束位置加固定延迟确定第1个时域偏移参考点。如图5（a）所示，设想固定延迟为12 ms，时域偏移参考点的周期为8 ms，时域偏移的取值为0，当NPDSCH-1的结束子帧为第1个无线帧子帧#9时，对应的HARQ-ACK传输开始于第3个无线帧子帧#4。

（2）时域偏移参考点固定为NPDSCH传输结束位置[11]加固定延迟。如图5（b）所示，设想固定延迟为12 ms，时域偏移取值为0，当NPDSCH-1结束子帧为第1个无线帧子帧#9时，对应的HARQ-ACK传输开始于第3个无线帧子帧#2。

其中，对于方案1，多个HARQ-ACK传输的起始位置相同，从而资源碎片相对较少；但是它的反馈时延相对较大；对于方案2，虽然反馈时延相对较小，但是它可能导致更多的占用所有子载波的NPUSCH无法被调度（尤其是在子载波间隔为15 kHz的场景下）。考虑到对于方案2，通过采用恰当的时域偏移取值也可以实现多个HARQ-ACK资源的对齐，从而能够达到和方案1同样的效果，所以方案2是相对更优的解决方案。

5.2 上行调度定时

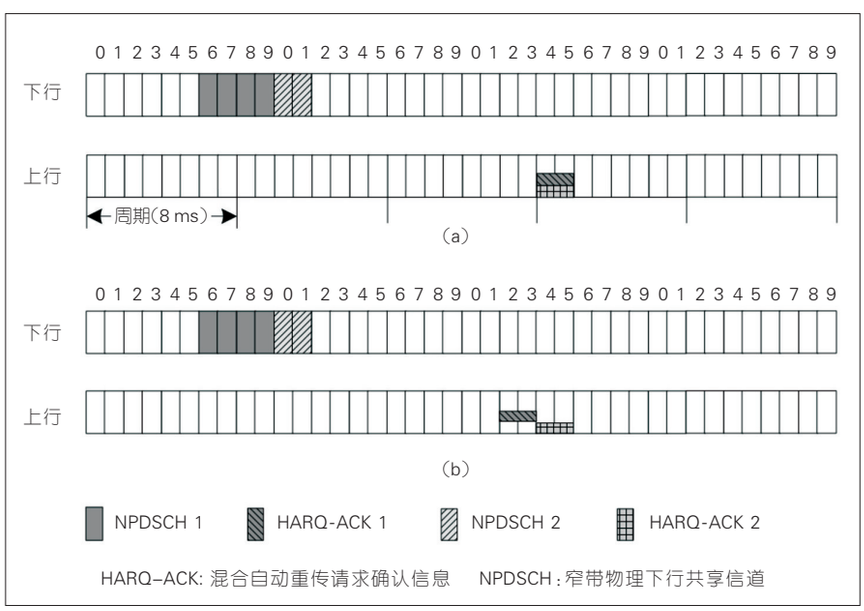
由于NB-IoT系统上行数据传输的特点，所以NB-IoT的上行支持异步HARQ。由于不支持类似于LTE物理混合自动重传指示信道（PHICH）的传输，所以上行调度定时主要考虑的是NPDCCH和NPUSCH之间的定时。可供选择的方案和下行调度定时相同，最终优选的解决方案也与下行相同，但上行只定义了一组调度定时间隔取值。

6 NB-IoT资源分配

6.1 下行资源分配

6.1.1 NPDSCH的资源分配

由于NPDSCH的调度单元为1个



▲图5 采用固定周期的和固定的时域偏移参考点示例

D:\MAG\2017-02-132/VOL23\F3.VFT——6PPS/P4

子帧，所以不需要支持频域的资源分配，在时域上需要支持多个调度单元或子帧的分配以适配不同的传输块大小（TBS），并且在时域上还需要指示重复传输次数以累积接收能量从而实现覆盖增强。也就是说，NPDSCH 资源分配的配置仅由子帧数量（N_{SF}）和重复传输次数（N_{Rep}）这两个参数构成即可，而此时 NPDSCH 从根据下行调度定时确定的起始位置开始以 N_{SF} 个子帧为单位重复地传输 N_{Rep} 次。

6.1.2 HARQ-ACK 的资源分配

由于对应的调度单元大小和数目固定，所以资源分配只需要指示频域位置。此外，为累积接收能量从而实现覆盖增强，还需要指示重复传输次数。频域资源的分配包括基准子载波的选择和子载波偏移。基准子载波的分配主要包括以下 3 种候选方案[11-12]：

（1）隐式获得，例如通过 NPDCCH 所在搜索空间的位置隐含获得 HARQ-ACK 对应的基准子载波；

（2）信令指示，例如通过 DCI 中的信令指示基准子载波；

（3）将一个子载波固定用作基准子载波。

由于通过方案 1 获得的基准子载波不是固定的，从而增加了对 NPUSCH 的调度约束且导致资源分块问题严重，同时方案 2 需要额外的控制信令开销，所以从减少控制开销和复杂度的角度，方案 3 是相对更优的解决方案。例如，当子载波间隔为 15 kHz 时，子载波#0 固定用作基准子载波；当子载波间隔为 3.75 kHz 时，子载波#45 固定用作基准子载波，上述的方法可有效避免在 3.75 kHz 和 15 kHz 子载波间隔的 HARQ-ACK 之间的相互阻塞。

另外，类似于 HARQ-ACK 的时域偏移指示，由于对于不同的子载波间隔，HARQ-ACK 传输对应的调度单元大小是不同的，独立设计两种不同子载波间隔的子载波偏移指示信令是可行的。

6.2 上行资源分配

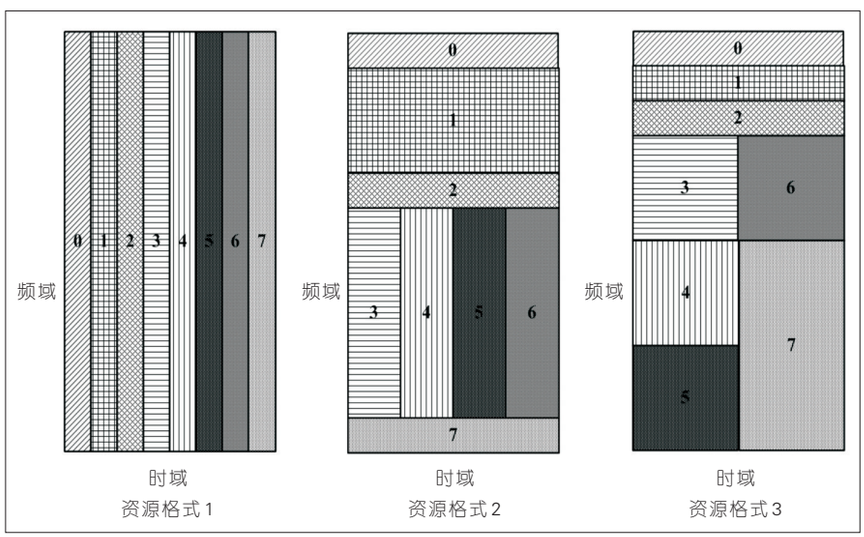
上行资源分配的设计主要包括两种方案：

（1）预定义资源格式[13]。如图 6 所示，预先提供 3 种资源格式，通过高层信令配置使用哪一种资源格式，再通过 DCI 指示子块索引即可。采用上述方案可以有效地降低资源分配的开销，但是由于资源格式固定，调度灵活性受到限制并且资源浪费严重。

（2）动态指示[14]。当子载波间隔为 3.75 kHz 时，由于只支持单载波传输，所以只需要指示子载波位置即可（需要指示的子载波位置为 48，所以资源指示域为 6 bit）。当子载波间隔为 15 kHz 时，同时支持单载波和多载波传输，所以需要指示子载波数和起始位置。一种直接的方案就是独立指示，因为子载波数有 4 种，而起始位置有 12 种，所以需要 2 bit 和 4 bit 分别指示子载波数和起始位置，即频域资源分配需要 6 bit；另一种是采用联合指示的方式，如表 2 中所示，只需要 5 bit 就可以指示子载波数和起始位置。由此可见，联合指示方式的开销小于独立指示的开销，所以联合指示是相对更优的解决方案。此时，调度单元的个数（I_{RU}）和重复传输次数（I_{Rep}）仍然是通过 DCI 中的对应比特域指示。

7 结束语

在无线接入网（RAN）#72 全会上 3GPP 批准了“Rel-14 NB-IoT WI：Enhancement of NB-IoT”立项，计划在 2017 年 9 月之前完成增强版本 NB-IoT 的标准化。其中，在 Rel-14 中 NB-IoT 的增强仍然属于在现有频谱



▲图 6 预先定义的 3 种资源格式示例

▼ 表 2 子载波数和起始位置的联合指示

索引	子载波数（x）及起始位置（m）
00000~01011	$x=1$，$m=1$~12
01110~10001	$x=3$，$m=1$~4
10010~10011	$x=6$，$m=1$~2
10100	$x=12$，$m=1$
10101~11111	保留

D:\MAG\2017-02-132/VOL23\F3.VFT——6PPS/P5

上 LTE 演进的范畴。与此同时，3GPP 从 RAN1#84 bis 工作组会议上开始讨论在 5G 新无线（NR）范畴内命名为海量机器类型通信（mMTC）的进一步的 MTC 演进，主要的演进方向[15]包括更大的连接密度、更低的终端功耗和覆盖增强。为支持超大的连接密度并考虑到突发性的上行业务特性，在未来 mMTC 的演进中，新的调度（例如基于免同步或免调度或组调度机制的传输）并结合新的资源管理方式（例如基于码分复用的资源管理）可能会被采用，这也是后续需要我们重点研究的内容。

参考文献
[1] Huawei. Revised Work Item: Narrowband IoT (NB-IoT): 3GPP RP-152284[S]. 3GPP, 2015
[2] ZTE. Multiplexing of Downlink Channels for NB-IoT: 3GPP R1-160045[S]. 3GPP, 2016
[3] ZTE. Uplink data channel with 15 kHz subcarrier spacing for NB-IOT: 3GPP R1-160053[S]. 3GPP, 2016
[4] ZTE. Uplink Data Channel with 3.75 kHz Subcarrier Spacing for NB-IOT: 3GPP R1-160054[S]. 3GPP, 2016
[5] ZTE. Scheduling of DL and UL data channels for NB-IoT: 3GPP R1-160046[S]. 3GPP, 2016
[6] ZTE. Remaining Issues on NPDCCH Design of NB-IoT: 3GPP R1-161859[S]. 3GPP, 2016
[7] ZTE. Remaining Issues on NPDCCH Design of NB-IoT: 3GPP R1-162757[S]. 3GPP, 2016
[8] Ericsson. NB-IoT – NPDCCH Design: 3GPP R1-160074[S]. 3GPP, 2016
[9] ZTE. Scheduling of DL and UL Data Channels for NB-IoT: 3GPP R1-160469[S]. 3GPP, 2016
[10] Huawei. UCI for NB-IoT:3GPP R1-162628 [S]. 3GPP, 2016
[11] ZTE. Remaining issues on UCI transmission for NB-IoT3GPP R1-162763[S]. 3GPP, 2016
[12] Ericsson. NB-IoT – Uplink Control Information: 3GPP R1-161875[S]. 3GPP, 2016
[13] Ericsson. NB-IoT – NB-PUSCH design: 3GPP R1-160271[S]. 3GPP, 2016
[14] ZTE. Resource Allocation of Uplink Data Channel for NB-IoT: 3GPP R1-161868[S]. 3GPP, 2016
[15] Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies (Release 14): 3GPP TR 38.913 V0.3.0[S]. 3GPP,2016

作者简介

邱刚，中兴通讯股份有限公司无线研究院副院长；主要从事 LTE（TDD/FDD）、Pre 5G 及 5G 项目版本交付工作；曾担任国家科技重大专项、"863"国家重大专项等项目主要负责人；曾获国家科学技术进步奖二等奖 1 项，国家科学技术进步奖特等奖 1 项；已发表中国专利 10 余篇，国际专利 5 篇。

陈宪明，中兴通讯股份有限公司技术预研工程师；主要从事 4G/5G 接入网物理层技术和标准化相关研究，研究方向包括适用于蜂窝物联网系统的上下行控制信道和资源调度；已申请专利 20 余篇，向 3GPP 组织递交提案 30 余篇。

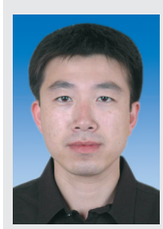
戴博，中兴通讯股份有限公司标准预研工程师；主要从事 MTC 和 5G 标准预研工作，参与 LTE R8/9/10/11/12/13/14 标准制订。

⬅上接第 9 页

容量，支持更多的终端同时发起接入请求，但是由于频域上相邻的 PRACH 信道之间无法保证正交性，因此需要配置保护带宽，进而严重影响 PRACH 信道的使用。在后续的接入技术研究中，考虑通过设计一种窄带滤波器，将其作用到第 1 种前导结构上，进而降低这种前导结构对于相邻子载波的干扰，达到降低配置保护带宽的目的。与此同时，再结合这种前导结构的码分复用特性，就可以提高 NB-IoT 系统的 PRACH 容量，满足 NB-IoT 系统未来发展接入的需求。

参考文献
[1] Study on Provision of Low-Cost Machine-Type Communications (MTC)User Equipments (UEs) Based on LTE (Release 12): 3GPP TR36.888[S]. 3GPP, 2013
[2] Study on Enhancements to Machine Type Communications (MTC)and Other Mobile Data Applications Radio Access Network (RAN)Aspects (Release 12): 3GPP TR37.869 [S]. 3GPP, 2013
[3] Cellular System Support for Ultra-Low Complexity and Low Throughput Internet of Things (CIoT) (Release 13):3GPP TR45.820 [S]. 3GPP, 2015
[4] 戴国华,余骏华. NB-IoT的产生背景、标准发展以及特性和业务研究[J]. 移动通信, 2016,40 (07): 31-36
[5] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation: 3GPP TS36.211 V13.2.0[S]. 3GPP, 2007
[6] CHU D C. Polyphase Codes with Good Periodic Correlation Properties[J]. IEEE Transactions on,1972, 18(4): 531-532
[7] FRANK R L, ZADOF S A. Phase Shift Pulse Codes with Good Periodic Correlation Properties[J].IRE Transactions on Information Theory,1961, 8(6): 381-382
[8] ZTE. Physical Random Access Channel Design of NB-IoT[S]: R1-156628. 3GPP, 2015
[9] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) Radio Transmission and Reception[S]: TS36.104 V13.5.0. 3GPP, 2016
[10] ZTE. NB-IoT PRACH Design: R1-160056 [S]. 3GPP, 2016
[11] ZTE. Single-tone PRACH for NB-IoT: R1-160482[S].3GPP,2016
[12] ZTE. Remaining issues on single tone PRACH for NB-IoT: R1-161872[S]. 3GPP, 2016
[13] ZTE. Remaining issues on PRACH for NB-IoT: R1-1627643GPP[S]. 3GPP,2016
[14] Qualcomm Incorporated. New Work Item: NarrowBand IOT (NB-IOT): RP-151621 RAN #69 [S].3GPP,2015
[15] Final_Minutes_report_RAN1#84_V200[S]. 3GPP,2016
[16] Final_Minutes_report_RAN1#84bis_V100[S]. 3GPP, 2016

作者简介



刘锟，中兴通讯股份有限公司技术预研高级系统工程师；主要从事 4G、5G 标准预研工作，重点参与了 3GPP LTE、MTC 以及 NB-IoT 等标准协议的制订，尤其侧重于接入技术的研究；已向 3GPP 标准组织提交提案 30 多篇，申请发明专利 40 余项，发表论文 4 篇。

戴博，中兴通讯股份有限公司资深标准预研工程师；参与 LTE R8/9/10/11/12/13/14 标准制订，现从事 MTC 和 5G 标准预研工作。

杨维维，中兴通讯股份有限公司技术预研高级工程师；主要从事 4G、5G 标准预研工作，主要参与 3GPP LTE 和 NB-IoT 等标准协议的制订，尤其侧重于上行数据信息和上行控制信息相关的技术研究；已向 3GPP 标准组织提交提案 40 余篇。

D:\MAG\2017-02-132/VOL23\F3.VFT——6PPS/P6