

---

# IMT-2020(5G)推进组 终端直通专题组技术报告

---

技术报告  
Technical Report

---

版权声明 Copyright Notification

---

本文档由IMT-2020（5G）推进组终端直通专题组成员单位起草

---

未经许可 禁止打印、复制及通过任何媒体传播

© 2015 IMT-2020推进组版权所有

---

---

## 目录

第一章 终端直通技术需求与场景 .....	5
1.1 VDC 需求与场景.....	5
1.2 协作通信需求与场景 .....	8
1.3 业务连续性需求与场景 .....	11
1.4 Low Cost 需求与场景 .....	13
第二章 解决方案与评估 .....	15
2.1 VDC 方案介绍.....	15
2.1.1 V2V 空口方案.....	15
2.1.2 动态频谱共享 .....	21
2.1.3 网络辅助拥塞控制 .....	22
2.1.4 基于地理位置的广播 .....	23
2.1.5 基于网络连通性的资源分配 .....	25
2.1.6 快速直连终端的发现 .....	26
2.2 协作通信方案介绍 .....	27
2.2.1 方案 1.....	27
2.2.2 方案 2.....	28
2.2.3 方案 3（MUCC，Multiple User Cooperative Communication） .....	29
2.2.4 方案 4（多中继系统网络编码） .....	31
2.2.5 多跳传输动态路由算法 .....	33
2.2.6 多中继系统网络编码在消息分发中的应用 .....	35
2.2.7 使用于 D2D 协作通信的协作分集方法 .....	36
2.2.8 评估与结论 .....	39
2.3 业务连续性方案介绍 .....	58
2.3.1 基于功率控制和模式切换的业务连续性方案 .....	58
2.3.2 模式切换时的数据前转方案 .....	59
2.3.3 评估与结论 .....	61
2.4 Low Cost D2D 方案介绍.....	67
2.4.1 Low Cost D2D 设计方案 .....	68
2.4.2 评估与结论 .....	69

---

---

# 第一章 终端直通技术需求与场景

## 1.1 VDC 需求与场景

随着经济社会高速发展，中国汽车保有量迅速增长，道路交通事故频繁发生，已成为近年来影响我国公众安全感的重要因素之一，道路交通安全问题已经成为影响社会和谐和改善民生的基本问题之一。车联网是融合了通信、汽车、交通等行业的新兴智能战略产业，通过车辆之间及交通设施之间通信，将人、车、路、网有机地结合在一起，形成车路协同，可以有效解决传统激光、雷达、机器视觉分析等存在的距离、角度等缺陷，从而能够全方位提升汽车主动安全系统的感知范围和感知程度，大幅降低交通事故，避免碰撞引发的生命财产损失，提高交通通行能力，解决交通拥堵，提升道路承载能力，减少噪音与尾气排放。

车联网中的通信技术，V2X，包括车车通信（V2V）和车路通信（V2I 或者 V2R），也称之为 Car2X，是车联网核心部分之一。车联网的无线通信技术主要上分两种，一是无线局域网，二是蜂窝移动网络（技术指标见表 1.1-1）。使用 WLAN 可以降低成本，提高带宽，能够满足交通信息实时交互的需求。WLAN 环境下，路边基础设施为无线网关 AP，车辆与车辆、车辆与路边基础设施之间通过 WLAN 进行通信。而且这样可以和手机的移动通信区分开来，有效的从根本上避免了干扰。

众所周知，WLAN 的标准是以 802.11 为基础的，目前国际上选用 IEEE 802.11p 协议作为车联网通信系统的协议，符合智能交通系统中相关应用的需求。但是，由于 802.11p 采用的是 CSMA 接入技术，所以当车辆密度大时，所有车辆必须竞争使用有限的资源，导致信道拥塞，影响通信质量与效率。另外，由于使用 WLAN 技术必须在路边建设基础设施，使其部署成本大大提高，商业模式也不明朗，因此自 2010 年发布以来至今没有实现大规模商用。

随着高性能的 LTE 全面商用，相比于 IEEE 802.11p，LTE 拥有大覆盖范围的基站作为“与生俱来”的基础设施，可以支持长距离信息传递，高速移动节点，稀疏交通场景以及复杂的传输环境。另一方面，不同于 802.11p 自组织组网方式，LTE 采用中心组网方式，可以保证 V2X 的通信质量，解决 802.11p 可靠性低的问题。但是，目前的 LTE 标准并不支持 V2V 通信，经过基站的通信方式会

大大增加通信时延，这在车联网中是不可容忍的。密集组网下的周期性广播技术无法在 LTE 网络下实现。

表1.1-1： 各通信技术指标

Feature	Wi-Fi	802.11p	UMTS	LTE	LTE-A
Channel width	20 MHz	10 MHz	5 MHz	1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz	Up to 100 MHz
Frequency band(s)	2.4 GHz, 5.2 GHz	5.86–5.92 GHz	700–2600 MHz	700–2690 MHz	450 MHz–4.99 GHz
Bit rate	6–54 Mb/s	3–27 Mb/s	2 Mb/s	Up to 300 Mb/s	Up to 1 Gb/s
Range	Up to 100 m	Up to 1 km	Up to 10 km	Up to 30 km	Up to 30 km
Capacity	Medium	Medium	Low	High	Very High
Coverage	Intermittent	Intermittent	Ubiquitous	Ubiquitous	Ubiquitous
Mobility support	Low	Medium	High	Very high (up to 350 km/h)	Very high (up to 350 km/h)
QoS support	Enhanced Distributed Channel Access (EDCA)	Enhanced Distributed Channel Access (EDCA)	QoS classes and bearer selection	QCI and bearer selection	QCI and bearer selection
Broadcast/multicast support	Native broadcast	Native broadcast	Through MBMS	Through eMBMS	Through eMBMS
V2I support	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
V2V support	Native (ad hoc)	Native (ad hoc)	No	No	Potentially, through D2D
Market penetration	High	Low	High	Potentially high	Potentially high

因此，在 VDC 中首先需要满足使用终端直通技术实现 V2V 通信并满足车联网中的延时和可靠性指标。其次，如何在密集组网场景下实现周期性广播也是终端直通技术中需要考虑的。

为了保证交通安全，VDC 中车辆需要以广播形式发送安全类消息，周围的车辆接收到此类消息后，如果发现有可能会发生碰撞的危险，则会向驾驶员发出预警，以便于驾驶员及时避让。基本消息类型分为 CAM 消息和 DENM 消息。CAM 消息用于向位于单跳通信范围内的邻居 ITS 终端提供本 ITS 终端的位置、速度、加速度、方向等车辆的基本状态信息，适用于前方车辆告警、摩托车接近指示等场景。所有 VDC 节点启动后，CAM 消息大体上会按照一定的周期向外发送。DENM 消息用于通知特定事件的发生，当定义的特定事件发生时，触发对应的 DENM 消息，在事件取消前，对应的 DENM 消息将周期性向外发送，适用于紧急电子刹车灯告警、逆向超车提示等场景。车辆安全消息对于时延、可靠性和传输距离均有较高的要求，通常而言，车辆安全消息的传播时延需要控制在 100ms 以下，可靠性方面需要确保较高的包递交率和包接收率，覆盖范围方面

需要支持数百米的传输能力。

另外车车/车路之间通信，一方面需要保证对发送节点的可信性，防止来自恶意节点的安全威胁，同时还要保证发送消息的完整性、机密性；另一方面也需要保护发送节点的个人隐私。

表1.1-2

VDC	描述
通信方式	a) 道路上的车与车及车与人及车与路边单元之间的通信 b) 道路上的车辆与基站间的通信
应用场景	a) 交通安全 b) 行车效率 c) 信息服务及娱乐
消息类型	a) CAM (Cooperative Awareness Message) b) DENM (Decentralized Environmental Notification Message)
消息周期	100ms
通信类型	a) 单跳 b) 多跳



图1.1-1：应用场景

## 1.2 协作通信需求与场景

随着经济社会的高速发展，互联网服务移动化的趋势越来越明显，各种新的 App 层出不穷，为工作、生活、娱乐、出行等方方面面提供了良好的用户体验，人们对于“随时随地连接”的需求变得愈发强烈，但是传统的蜂窝通信并不能保证手机与基站间的信道状况始终良好。另一方面，不断普及的智能终端设备也拥有越来越强的通信能力，一部手机除了可以通过蜂窝通信外，往往还可以使用 wifi、蓝牙等短距离通信技术。临近的多个用户间通过短距离技术进行协作，互相中转数据，这样就使得某一终端设备与基站间有多条信道，当某一信道状况不好时，总可以选择其它更优的信道通信，这样能够提升吞吐量，有助于带来更好的用户体验。

数据共享网络建立在终端直连技术上，在基站的控制/协助下或者由终端自发组织建立起数据传输网络。如图 1.2-1 所示，数据共享网络可以对数据进行网络编码，获得分集或复用增益。

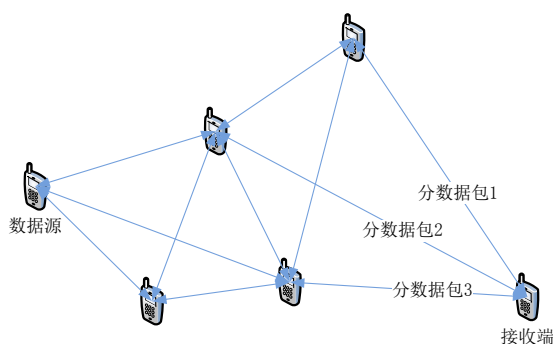


图 1.2-1 数据共享网络

D2D 通信的应用对终端之间的距离比较敏感，终端间距越大，D2D 传输的优势越不明显，而单纯提高发射功率，则会导致终端功耗上升从而使得 D2D 的竞争力下降。因此对于常规的 D2D 通信来说，可能往往需要将其传输距离限定在百米甚至十米的数量级范围内。而协作通信则具有克服 D2D 通信距离受限的可能。

网络编码是一种典型的协作通信技术。传统的数据传输策略是信源产生数据，中间节点进行复制、存储和传输，接收节点接收数据，数据之间是独立、不相关的。而网络编码推翻了独立比特不能被压缩的经典结论，指出网络信息流可以被



压缩，从而进一步提升网络吞吐量。网络编码的基本思想是：允许网络中的节点对接收到的信息合并后再传输，中继节点对来自不同链路的信息进行编码组合，使得网络节点既具有路由功能又具有编码功能。由此可见，网络编码技术本身的一个主要优势就是通过合并多个链路的信息来提高等效SINR。这也意味着，将网络编码应用到D2D通信中，则具有克服传统D2D传输距离受限、从而提高D2D通信性能的优势。

D2D协作通信中的网络编码除了可以提高系统的容量，还能够带来分集增益。由于终端的天线高度和天线增益远低于基站天线，而且具有移动性，因此终端与终端之间的信道质量较传统上行和下行的要差。为了保证信号传输的可靠性，分集对于D2D通信尤为重要。

图 1.2-2所示的蝶形网络是典型网络拓扑结构，源节点A和B分别发送1比特到目的节点X1和X2，假设各链路的容量为1。图(A)中采用的是传统路由方法，即节点C一次只能传送1比特到节点D，节点D也只能传送1比特到节点E和F，节点C和D之间的链路不得不使用了两次；图(B)采用基于模二加的网络编码方法，节点C对输入信息流进行编码，将编码的结果 $X1 \oplus X2$  ( $\oplus$ 表示模2加)传送到节点D，再通过节点D传送给节点E和F。节点E根据自身已收到的信息X1和 $X1 \oplus X2$ ，可以解码出X2 ( $X2 = X1 \oplus (X1 \oplus X2)$ )。同样，节点F也能解码出X1，平均速率是2比特/单位时间。

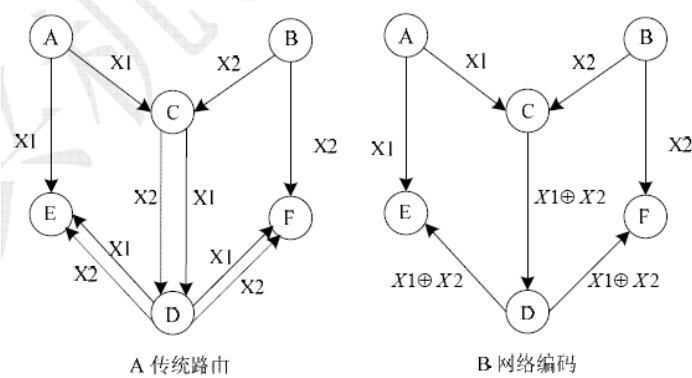


图1.2-2 蝶形网络的网络编码示意图

根据业务类型的不同，潜在的存在以下业务场景：

- **终端数据发布场景：**终端触发的数据共享场景。该场景由终端触发发布

---

数据，并由网络侧下发业务广播，在寻找到接收兴趣方后，建立数据共享网络并实施数据协作传输。

- **网络数据发布场景：**网络触发的数据共享场景。该场景由网络触发发布数据，并由网络侧下发业务广播，在寻找到接收兴趣方后，建立数据共享网络并实施数据协作传输。

数据协同接收场景：终端发起的基于某特定数据的预约协同传输场景。该场景由终端向网络侧提出对某特定数据的接收需求，网络侧下发协同广播，在寻找到协作接收方后，建立数据共享网络并实施数据协作传输。

上面提到的协作通信的内容是对应网络编码最常见的应用——无线/卫星通信，属于简单拓扑场景，对网络编码本身的要求较低，通过最简单的 XOR 加或 PHY Network Coding 即可实现，但对节点到基站的链路状态存在一定要求，因此只适用于中等及较远距离下的 D2D 通信。此外，与标准 D2D 相比，基站辅助监听方案中会对进行辅助传输的基站造成一定负荷，影响小区频谱繁忙程度；而且在基站为多个 D2D 通信对进行辅助的场景中，基站需要接收来自多个 UE 的信息，间接要求物理距离较远（e.g.两跳范围以外）并在标准 D2D 中有可能复用时频资源的多个 UE 在基站辅助监听方案中需要使用额外的时频资源，从而影响整个系统的资源复用程度。因此基站辅助监听可视为在标准 D2D 和同构网下行传输间进行组合折中的一类方案。类似地，邻近 UE 辅助监听方案会对辅助 UE 造成影响，可能需要选择较空闲的 UE 进行辅助，并通过不同 D2D 通信对选择不同辅助 UE 的策略，减轻邻近 UE 辅助监听方案对系统复用时频资源程度的影响。

多中继系统网络编码方案通常对应较复杂的多信源多中继拓扑场景，在中继节点上限可知的情况下，可以采用 MDS-FFNC 作为网络编码，但要求实现对编码矩阵及系统中各个节点使用的 encoding kernel 进行配置，且网络编码使用的有限域维度必须能够容纳当前中继节点的需求，造成系统的灵活性和可扩展性相对较差，实施复杂度较高。当网络规模较大，中继节点数目较多时，可使用随机网络编码，并选取较大的有限域维度，但高维有限域编码会为系统引入可观的计算复杂度，造成额外开销。综上所述，网络编码应用于复杂拓扑场景时带来的高

复杂度是需要考虑的主要问题，此外还可能会对资源调度、路由选择等环节产生其它影响。

MUCC 方案则可能应用于简单和复杂拓扑场景下，由形成 MUCC 组的 UE 数量和相互邻接关系决定。该方案天然利用了 D2D 引入的多用户选择分集增益对 UE 到基站通信的辅助作用，在 MUCC 组规模较小时易于实现，但需要对现有协议进行改动，且需要衡量在一定的组规模及通信吞吐量下，支撑 UE 的繁忙程度是否会影响系统性能。

### 1.3 业务连续性需求与场景

随着移动通信技术的迅猛发展，电信网络提供的语音和数据业务逐渐从保证健壮地联通性向提供良好的用户体验过渡。在下一代移动通信网络中，良好的业务连续性性能是衡量一个网络优越性的重要指标。

在终端直连技术中，由于对数据通信方式和流程进行了较大程度的改动，导致在新的场景下，如何保证 TDCT 业务以及 TDCT 与传统蜂窝业务间良好的业务体验是终端直连技术重点课题，也是终端直连技术与传统业务兼用性的重要性能指标。

在本节中，给出了“TDCT 通信间业务连续性”和“TDCT 和传统业务间业务连续性”两个潜在影响业务连续性的应用场景，并分析了潜在的技术增强需求。

#### TDCT 通信间业务连续性

由于无线通信信道的动态特征，特别是当 UE 处于移动状态时，会导致终端间通信的信道质量发生较大变化。如图 1.3-1 中所示，当 UE 间信道质量发生较大变化时，将有可能导致 TDCT 通信质量恶化甚至中断，从而影响 TDCT 业务的业务连续性。

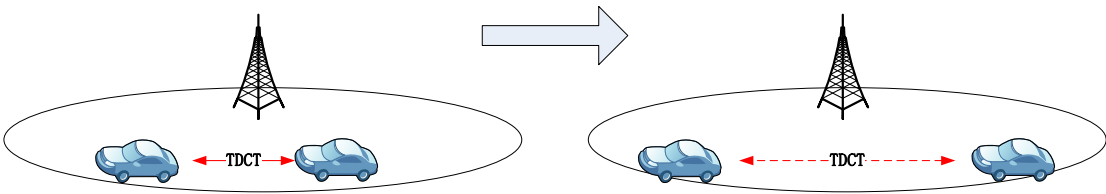


图 1.3-1: TDCT 通信业务连续性

保障 TDCT 通信的业务连续性，需结合合理的功率控制控制方案，以避免对当前系统的干扰环境，同时也需考虑终端的能耗问题，以达到性能和能耗的平

衡。与此同时，由于在当前的 TDCT 系统中，并不支持直连通信的数据重传机制，因此，也会加大保证业务连续性的难度。

TDCT 与传统业务间的业务连续性

当 UE 间信道状态恶化到一定程度，将无法支持终端直连通信。此时，需要将 UE 从 TDCT 模式（称作 TDCT mode）转换为传统的基于基站的通信模式（称作 Legacy mode）；类似的，当 Legacy mode 满足 TDCT 通信要求时，也可以将 UE 从 Legacy mode 转换为 TDCT mode。

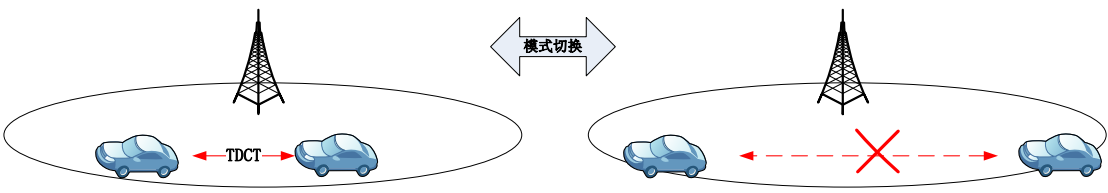


图 1.3-2: TDCT mode 与 Legacy mode 间转换

此外，如图 1.3-3 右图所示，处于 Legacy mode 下的 UE 当移动出网络覆盖范围或者通信质量恶化到某一程度时，也可以选择利用 TDCT mode 将业务通过具有良好覆盖（或较好通信链路质量）的 UE 进行数据中转，从而正常与网络通信。此时，也需要数据在 Legacy mode 和 TDCT mode 间进行转换。

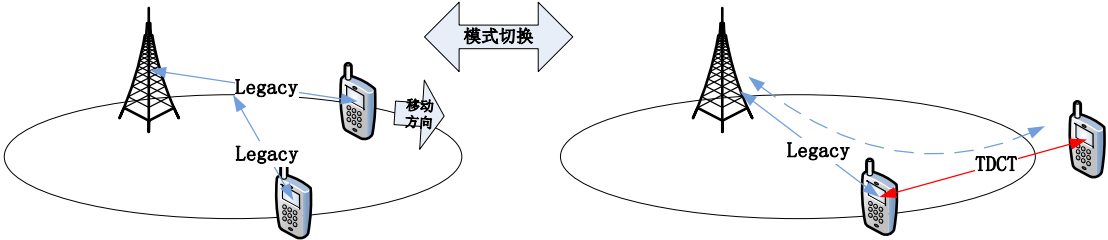


图 1.3-3: 基于中继的 TDCT 协作模式

另外，为了降低核心网回传链路以及接入网的负载（如图 1.3-4），或者为了降低 UE 功耗（如图 1.3-5），也可以在网络侧控制下，将某些满足 TDCT 直接通信要求的业务从 Legacy mode 转换为 TDCT mode，如图 1.3-2 左图所示。

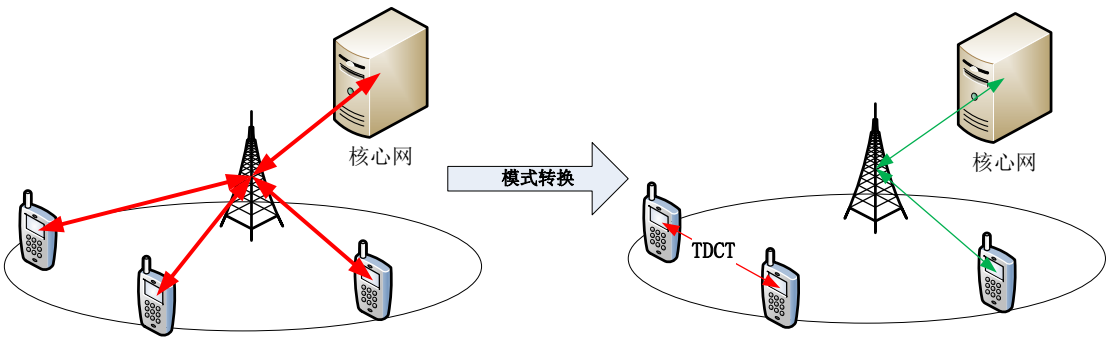


图 1.3-4: 基于负载的模式切换

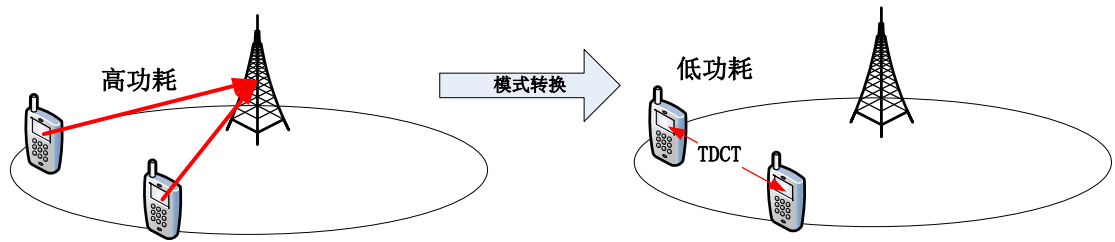


图 1.3-5: 基于节能的模式切换

在上述 4 个场景下,当 TDCT mode 和 Legacy mode 之间进行模式切换时,要求定义合理的模式切换方法和流程,并根据不同业务的 QoS 要求,进行数据前转,从而满足业务连续性需求。

根据上述场景分析可以看到,在 TDCT 条件下,业务连续性问题的主要体现在“TDCT 通信内的业务连续性”和“TDCT 与传统业务间的业务连续性”两个方面。根据上述场景,有以下潜在的技术需求:

- TDCT 通信内的业务连续性
- 研究基于 TDCT 的功率控制模式;
- 研究基于 TDCT 的数据重传模式;
- TDCT 与传统业务间的业务连续性

研究 TDCT mode 和 Legacy mode 之间模式转换中的 RRM 测量机制和信道测量机制;

研究适合不同业务 QoS 要求的“无损切换”和“无缝切换”中的数据转发机制;  
给出模式切换整体流程和信令设计;

## 1.4 Low Cost 需求与场景

物联网是业界公认的 5G 主要需求和 5G 主要驱动力,对于大多数的物联网应用而言,海量、低成本、小数据包、低时延、低功耗是其重要特征,例如智能抄表(水表、电表、气表)、智能家居等物联网场景中,存在数量远远大于目前移动智能手机的有无线通信需求的智能机器,他们传输数据量较小的非实时文本数据,对成本和功耗非常敏感。对于这种低成本的无线终端,如果直接接入蜂窝网,则由于其海量小数据包特性,对蜂窝网的接入、链接管理造成很大的冲击。而由于其低成本的要求,不可能如目前智能终端一样复杂的通信协议而造成成本

---

增加，物联网系统大都是由电池供电，发射功率受限，且很多物联网设备处于复杂的通信环境中，如很多设备处于地下室，覆盖远差于处于地面的移动终端。而通过中继终端进行转发的多级物联网接入系统可以有效的解决这个问题，在这种多级物联网接入系统中，物联网终端和中继终端之间采用 **D2D** 链路建立通信，为了满足海量物理网设备对于低成本、低功耗的需求，物联网终端和中继终端之间的 **D2D** 链路需要经过特殊设计，以降低物联网终端和中继终端的成本。

---

## 第二章 解决方案与评估

### 2.1 VDC 方案介绍

#### 2.1.1 V2V 空口方案

**调制技术：**考虑到成本和尽量复用现有 LTE 信道等因素，车辆安全短程通信系统推荐采用 SC-FDM 调制技术。具体原因包括：

SC-FDM 相对于 OFDM 具有更低的 PAPR 特性。另外由于车辆需要同时支持 V2V 通信和 V2B 通信，而 V2B 通信重用现有的 LTE 上行信道，也是采用 SC-FDM 技术，因此在 V2V 中采用 SC-FDM 技术使得车辆具有相同的发射机结构，可以简化车辆的发射机设计，降低成本。

另外，在车联网系统中，除了 V2V、V2B 之外，还应该考虑车辆与行人、车辆与非机动车，之间的通信，也就是手持终端设备，如手机、平板电脑等，与车辆之间的通信，根据现有的 LTE 规范，手持终端间的通信支持 D2D 技术。在 D2D 中也是采用 SC-FDM 技术。

因此在 V2V 通信中采用 SC-FDM 技术，使得车辆具有相同的发射机结构，并且对于所有来自其他车辆和手持设备的信号具有相同的接收机结构。

**多址接入技术：**多址接入技术决定了多用户如何共享使用有限的无线资源，这在以安全为主要诉求的车辆安全短程通信系统中格外重要。在 LTE 系统中，多用户的复用主要是频分多址技术（FDMA），而在 DSRC 系统中，采用时分多址技术（TDMA）。这两种技术具有各自的优缺点。

- FDMA

- 优点：

- 用户只占用一部分带宽，相对于 TDMA 技术，发射功率谱密度高，传输距离远。
    - 调度灵活。
    - 资源利用率高。

- 缺点：

- 半双工限制：多个用户通过频分复用，他们之间不能互相接收对

方的信号，需要多次传输，比如现有的 D2D 数据部分采用 4 次重传机制。

- In-band emission 的影响：多个用户通过频分复用资源，由于 in-band emission 的影响，一个用户的数据会对相邻频率资源内的其他用户的信号产生干扰。
- 远近效应：在同一时刻多个车辆是频分的，存在多个车辆同时发射信号，某一个车辆需要同时接收来自不同车辆的信号的情况，由于多个发射信号的车辆与接收信号的车辆的距离可能不同，就会存在由于远近效应而导致传输时延的不同，从而使得多个发射信号在接收端不能对齐，需要采用较大的循环前缀（CP）来克服传输时延不同带来的影响，从而导致整个系统的传输效率降低。

远近效应的示意图如下所示：

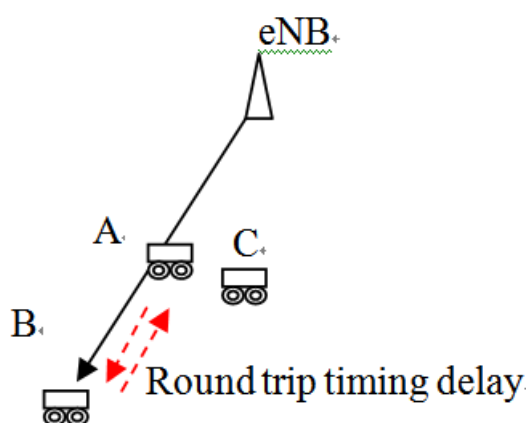


图 2.1.1-1 FDMA 系统中的远近效应示意图

图中所示 3 个车辆 A, B, C。A 和 C 距离很近，可以认为 A 到 C 不存在传输时延，B 和 C 相距 600m，A 和 B 都根据 eNB 的下行同步信号进行同步，并且以此为时间基准采用 FDM 的方式发射信号，C 同时接收 A 和 B 的信号，由于 A 和 B 之间的距离，导致他们的信号到达接收端 C 存在 4us 的传输时延，因此 CP 除了需要克服多经时延的影响，还需要克服远近效应而导致的时延，会导致额外的开销，降低系统的传输效率。

#### ● TDMA:

##### ● 优点:

- 同一时刻只有一个用户发送数据，不存在半双工的限制，因此不



---

需要多次传输。

- 基站调度简单。

- 无 in-band emission 影响。

- 缺点：

- 发射功率谱密度低，传输距离近。

- 每个用户单独占用一个子帧，当用户数据包很小时，会导致资源浪费。

**帧结构：**在车联网系统中，由于车辆高速移动，特别是对于相向运动的时候，相对速度非常高（比如 200-300km/h），因此会导致很大的多普勒频移。在车车通信的系统中，子载波间隔要足够大以克服多普勒频移带来的影响。

在车车通信中，车辆在某些时刻发射数据，在其他时刻接收来自其他车辆的数据。车辆从发射状态转为接收状态存在转换时延（约 20us），因此在发射数据包的末尾要留有保护间隔，在该保护间隔内不发射数据，从而保证数据能够完整接收。

类似于 LTE D2D 系统，车联网系统需要工作在两种场景下：有小区覆盖的场景（IC）和无小区覆盖的场景（OOC）。在有小区覆盖的场景中，车辆可以利用基站的调度在分配的资源上进行车车通信，也可以采用竞争的方式在预定义的资源池内竞争资源；在无小区覆盖的场景中，可以预定义一部分资源池，所有的车辆在该预定义的资源池内采用竞争的方式获取资源进行数据传输。

根据 V2B 和 V2V 是否工作在相同的频段，有小区覆盖场景下的无线帧结构分为两种情况：

i)V2B 和 V2V 工作在不同频段：此时 V2V 工作在 ITS 专用频谱，如 5.9GHz，而 V2B 工作在现有的 LTE 频段，如 2.6GHz。在 V2B 通信中，车辆可以看做是普通终端，利用现有的 LTE 信道进行 V2B 的通信，如沿用现有的 PDCCH/PDSCH 进行下行通信，利用 PRACH/PUCCH/PUSCH 进行上行通信。由于 V2V 通信工作在高频段，车辆是高速移动的，并且车车之间如果是相向运动的，相对速度更高，在这种高载频高移动速度场景下，会导致高多普勒扩展，需要对现有的 LTE 系统进行增强，使得 V2V 系统能够正常工作；

ii)V2B 和 V2V 工作在相同频段：此时可以复用现有的 TD-LTE 上下行配比

---

结构，V2B 和 V2V 传输在时间上是时分的，部分上行用于 V2V 通信。V2B 和 V2V 的资源大小可以由 eNB 配置。

**数据信道：**考虑到在基站辅助的车辆安全短程通信技术中，存在着 in-coverage 和 out-of-coverage 两种场景，针对不同的场景，需要采取不同的数据信道传输方案。一般来说，在 in-coverage 场景下，需要考虑基站的辅助调度作用，来实现更高效的资源协调和数据分配；在 out-of-coverage 场景下，需要设计更加智能的资源竞争方式，来更加灵活高效地分配无线资源，适配快速变化的拓扑结构。下面就针对两种场景，分别给出更加详细的数据信道传输方案。

### In-coverage 场景

在 IC 场景下，车辆处于基站的覆盖下，此时采用基站调度的资源传输模式资源利用率最高。传统的 DSRC 机制采用全分布式自由竞争方案，当用户数较多时资源碰撞冲突加剧，系统性能急剧恶化，系统性能曲线快速降低。车辆借助周边存在的基站调度功能可以有效地缓解这一问题，通过基站的统一协调、集中分配资源，车辆间碰撞减轻，系统性能不再随着用户数的增多而降低。

现有 LTE D2D 方案中，处于网络连接状态的 UE 可以采用基站调度的方式工作，调度流程如下图所示。其中，用 V-UE 来表示车辆终端，包括移动车辆和 RSU（RSU 可以看做是静止的车辆）。现有的一次数据传输调度过程包括 V-UE 向 eNB 发送业务请求，获得 BSR 资源，通过 BSR 资源指示 eNode B 需要发送的 D2D 数据量。车联网的调度机制可以参照 LTE D2D 机制，但是车联网相比于 LTE D2D 有着更高的技术指标要求，如时延、用户数量等。完全基于 D2D 的调度方案难以满足时延需求，同时由于过频繁的交互过程可能会对 eNode B 的传输资源以及调度运算带来强大挑战。

考虑到数据传输过程的时延要求，需要设计合理的调度交互过程，适当减少 V-UE 与网络的交互复杂性。可在现有 D2D 调度的基础上做进一步优化，合并交互流程，减少单次调度的时延。一方面，可以考虑 V-UE 和 eNodeB 之间使用 Uu 接口进行控制信息传输，V-UE 之间则使用 VDC 接口来进行数据信息传输。另一方面，由于车车、车路通信的业务往往具有明显的周期性特征，合理利用这些周期特性，适当引入半静态调度机制，可以有效降低 eNode B 的调度开销。

此外，车车、车路通信还是一种区域性通信机制，即在绝大多数场景中某个

车辆仅关心其周围几百米的车辆或者路边单元所发送的消息，对更远处车辆的广播消息完全不关心或者认为其没有任何价值。实践中基站的覆盖范围往往远大于车辆的通信范围，这就要求在同一个基站下相隔较远的车辆间彼此可以在一定程度上、一定干扰尺度内复用同一时频资源。因此，V-UE 向基站请求资源时，基站需要适当地评估出 V-UE 的位置关系，根据其位置远近尝试考虑资源复用，提高单基站覆盖下的系统容量。

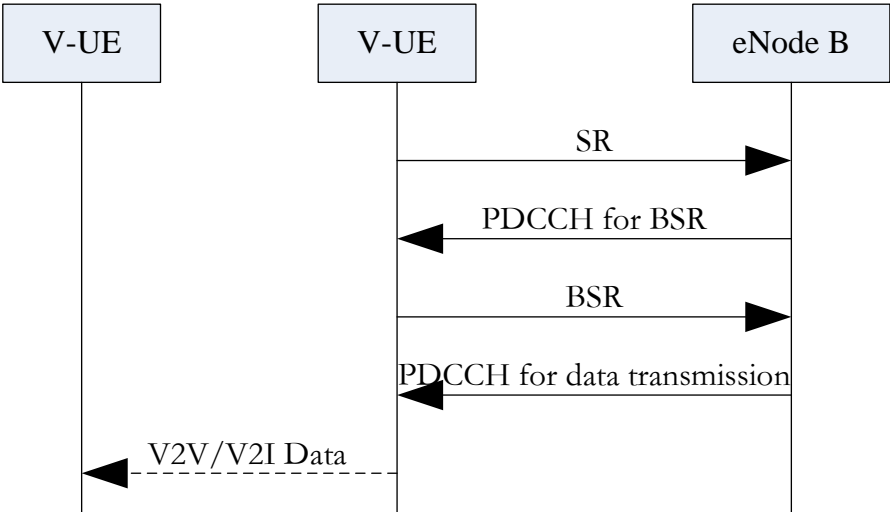


图 2.1.1-2 基于 LTE D2D 的基站调度模式

**Out-of-coverage 场景**

在 OOC 场景下，车辆处于基站覆盖范围之外，无法使用基站进行调度控制，此时车辆只能使用竞争的方式获取传输资源。

在现有的 LTE D2D 方案中，V-UE 预先配置了用于竞争传输的资源池。当 V-UE 发现自身处于基站覆盖范围之外，则选用预配置的资源池，数据到达时，在资源池内随机选择一个传输资源进行传输。该方案的主要缺陷在于：V-UE 始终处于一个资源池中传输，当用户密度很大的时候，很多用户使用同一个资源池，由于随机竞争会产生大量的数据包碰撞，丢包率大幅度上升。该方案对于用户密度较低的公共安全业务而言还可以接受，但是在用户密度动态范围很大的车联网场景，高丢包率对于丢包容忍很低的安全业务是不可接受的。

针对现有 D2D 技术的缺陷，可以考虑使用如下图所示的一种半静态的竞争方案：每个车辆预配置若干个资源池，车辆初始化时随机选择一个周期出现的资源池用于传输，并持续使用该资源池一段时间。在传输数据的同时，车辆保持监

听周围的资源池利用情况，并根据各资源池的负载情况决定是否重新选择资源池。如下图所示：整个车联网传输资源池被分成资源池 1-4，每个资源池都以周期  $T$  重复出现。车辆 V1 在初始接入时，决定使用资源 1 进行传输，并持续使用该资源一段时间；在 V1 不传输数据时，会侦听资源池 1 和其他资源池 2、3、4 的使用情况。当其有其他资源池（如资源池 2）的负载低于目前使用资源池 1 上的负载，则 V1 会选择切换到负载较少的资源池 2 上进行传输。

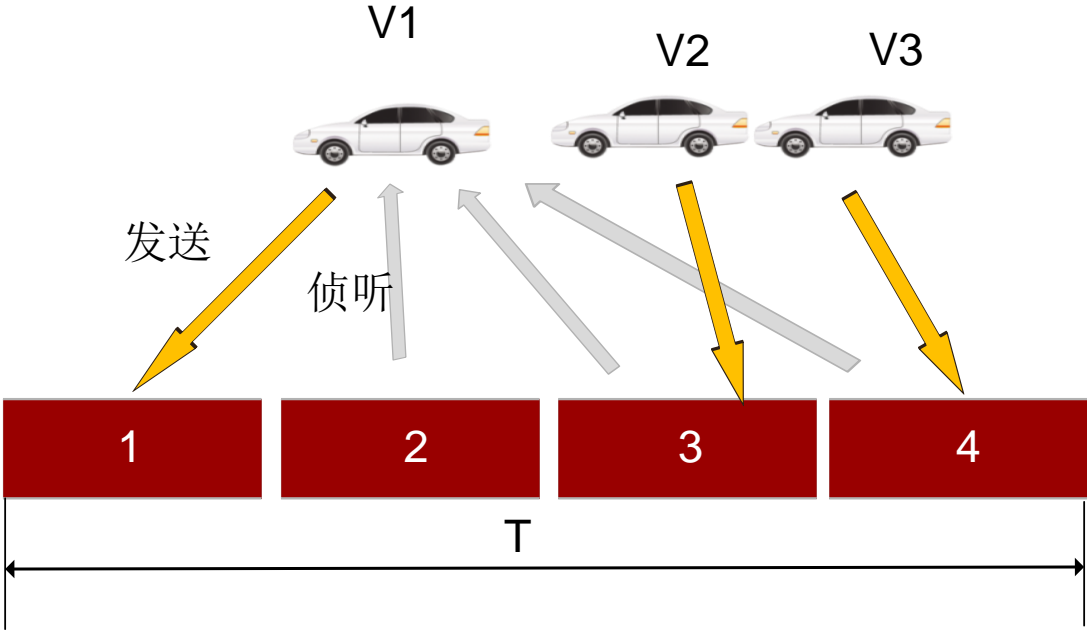


图 2.1.1-2 OOC 场景下的观察半静态竞争资源池示例

该方案的特点是：当观察到自身使用的资源池利用率很高，并且存在其他资源池利用率较低，则车辆自主切换到利用率低的资源池，有效避免一个资源池内竞争用户过多造成的数据碰撞的问题。半静态竞争的方案的关键技术包括资源利用率的测量设计，资源池的配置和资源池切换方案。

此外，对于 OOC 场景，如果通过调整资源池后仍然无法完全解决碰撞问题，还需要研究的其他拥塞避免机制，包括通过分布式的调整每个车辆的发送数据率、发送功率、重传次数等，进一步降低单一资源池内的碰撞问题。

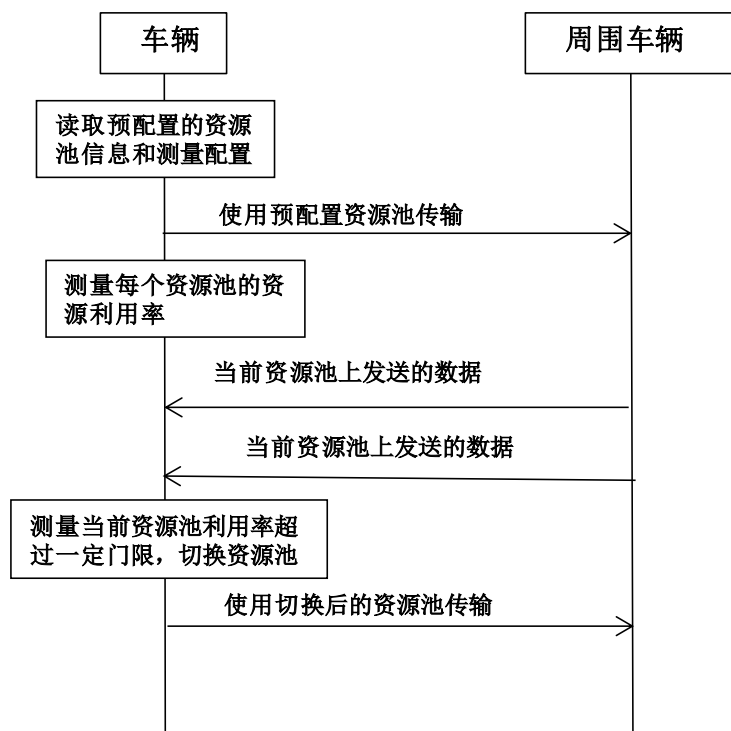


图 2.1.1-3 OOC 场景下的半静态竞争传输方案

## 2.1.2 动态频谱共享

由于车辆分布不均, 以及受到道路规划限制等原因, 导致车辆安全通信的需求分布不均, 体现出于传统移动终端通信不同的业务流量规律, 比如: 在高峰时段, 车辆安全通信需求较大, 在其他时段, 车辆急剧减少, 车辆安全通信需求减少。

为了充分利用移动通信频谱, 并为潜在的移动终端用户提供更快速的业务服务, 在交通低峰时段, 将部分高峰时段使用的频谱, 重新分配给普通移动终端用户使用, 既可以保证车辆安全通信, 又可以提升普通移动用户的业务体验。

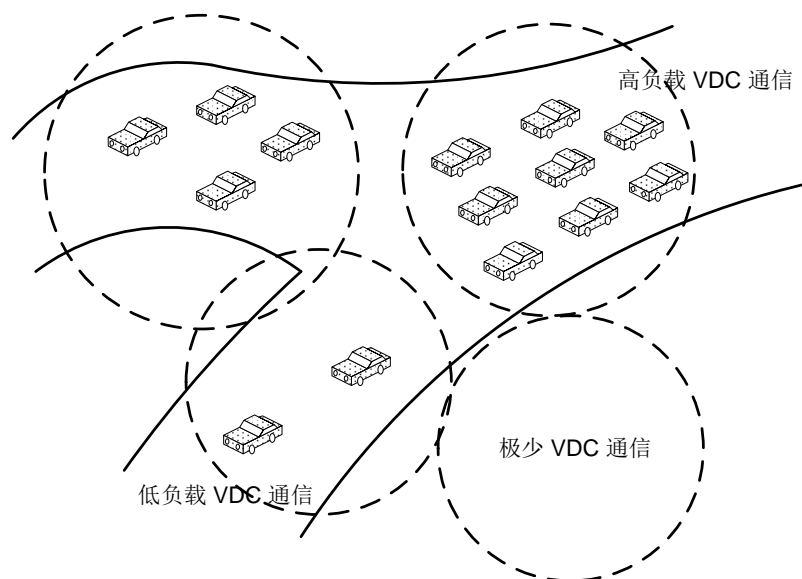


图2.1.2-1: 动态频谱共享

在 In-Coverage 场景下,V-UE 的传输资源由 eNodeB 集中分配,eNodeB 可以依据服务的 V-UE 的调度情况,比如: V-UE 数量,判断出当前的 V2X 空口的资源消耗情况,并在保证 V2X 通信需求的情况下,适当降低 V2X 通信的带宽,并将回收的 V2X 无线带宽资源分配给非 V2X 通信业务。

### 2.1.3 网络辅助拥塞控制

车辆之间的通信是否会导致网络拥塞,一方面取决于通信车辆的数量,另一方面取决于车辆在网络拥塞情况所在用的用户控制机制。高效的拥塞控制机制,不但可以缓解网络拥塞,还可以提升车辆通信网络的系统容量。

通常情况下,无线基站覆盖的范围大,有利用从全局感知网络拥塞情况,并为覆盖范围内的车辆提供有效的拥塞控制策略,缓解网络拥塞。

如下图,车辆 A 通过 B2V 通信接口接收到基站发送的拥塞控制策略信息,并依据拥塞策略信息控制 V2V 接口对其他车辆的消息发送,比如:控制发送频率、速率、消息内容等。

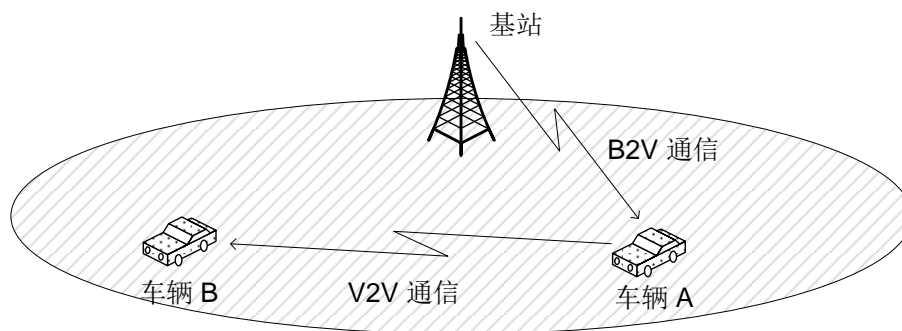


图2.1.3-1：网络辅助拥塞控制

一种可能的实现方式是，车辆 A、B 可以测量一段时间内 V2V 资源的负载情况，当判断发生拥塞时，则向基站上报，基站据此调整拥塞控制策略，并将调整后新的拥塞控制策略信息发送给车辆（如通过系统广播等方式），对车辆后续的 V2V 发送行为进行控制（如减小发送频率等等），以减轻网络拥塞情况，提升系统容量。

## 2.1.4 基于地理位置的广播

网络中最为常见的一种路由方式就是基于拓扑的路由(如 AODV 和 DSR)，它基于网络拓扑结构进行路由。但是，VANET 中的节点由于受道路限制而双向移动，因此路由策略可以利用从街道地图、交通模型或者甚至定位导航系统所获取的地理位置信息。大量的研究表明，针对城市和公路交通场景，基于位置的路由策略的性能要好于基于拓扑的路由。因此，对于 VANET 而言地理路由更有希望。

广播是 VANETs 中频繁使用的路由方法，例如在车辆间共享交通、天气、紧急事件和道路条件等信息。广播也用于单播路由协议中的路由发现阶段来查找到目的地更有效的路由。当消息需要分发到传递范围之外的车辆，需要使用多跳。最简单的实现广播服务的方法是洪泛，即每个节点广播消息给所有的邻居，除了发送给它消息的节点之外。洪泛保证消息最终到达网络中的所有节点。洪泛在节点数有限的网络中表现得很好，而且易于实现。但当网络中的节点数增加时，其性能迅速下降。一个广播消息传递所要求的带宽是指数增加。由于每个节点几乎同时接收和广播消息，这会造成竞争和冲突，以及广播风暴和高带宽消耗。洪泛

会产生大量的开销，可以采用有选择性的转发来避免网络拥塞。

车联网中，车辆的地理位置信息可以通过车载全球定位系统（Global Position System, GPS）获得，随着车辆安装 GPS 的普及，借助 GPS 获取的地理位置信息而设计的基于地理位置的广播或组播(Geocasting)技术逐渐发展起来。

基于地理位置的广播或组播在一定程度上能够适应变化的拓扑场景，并且可以通过 GPS 获得车辆的地理信息，相对于传统的广播而言，基于地理位置的广播可以进行指定区域的广播，例如前方发生了交通事故，可以根据地理位置信息，对后方车辆进行组播，这是传统的广播所无法做到的。如何保证位置信息的实时性和准确性是基于地理位置广播需要解决的一个关键问题，基于地理位置的广播也被认为是更加符合 VANETs 动态拓扑性的广播方式，也更适合于车联网中的主动安全或交通管理应用的需求。

另外，由于车辆移动速度较快、位置变化较为频繁，车辆地理位置对其能否获得网络覆盖有一定影响。为此，根据车辆的不同位置，采取不同的资源使用策略。资源使用方式根据UE所处的不同位置分为3类：

- ⇒ **Mode 1:** UE处于网络覆盖区（单基站覆盖区或者多基站覆盖区）则采用完全基站调度的方式工作；
- ⇒ **Mode 2:** UE处于完全无网络覆盖区域则采用自由竞争资源的机制；
- ⇒ **Mode 3:** UE处于小区边缘，即混合覆盖区时，采用调度与竞争共存的机制。

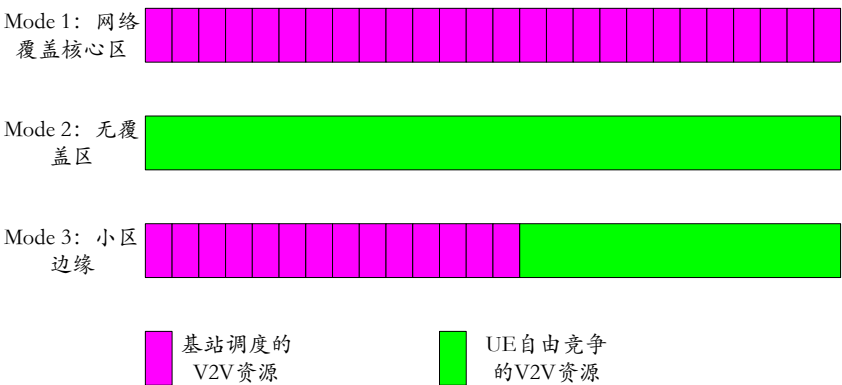


图2.1.4-1: UE所处不同位置对应的资源使用方法

UE所处位置的区分方法如下：所有UE都动态广播2 bit的自身覆盖情况信息。01-表示UE处于基站的覆盖下，UE的V2V传输资源是由基站分配的；00-表示UE



不处于基站的覆盖下，UE的V2V通信资源是自由竞争的，且UE未检测到身边有广播“01”的UE；10-表示UE不处于基站的覆盖下，UE的V2V通信资源是自由竞争的，且UE检测到身边有其它UE广播“01”。

- Mode 1: 所有UE都广播“01”，每个UE检测到其它的UE广播的都是“01”。
- Mode 2: 所有UE都广播“00”，每个UE检测到其它的UE广播的都是“00”。
- Mode 3: 自己在广播“10”；或者自己广播“00”，检测到身边存在其它UE广播“10”或者“01”的；自己在广播“01”，检测到身边有UE在广播“00”或者“10”。

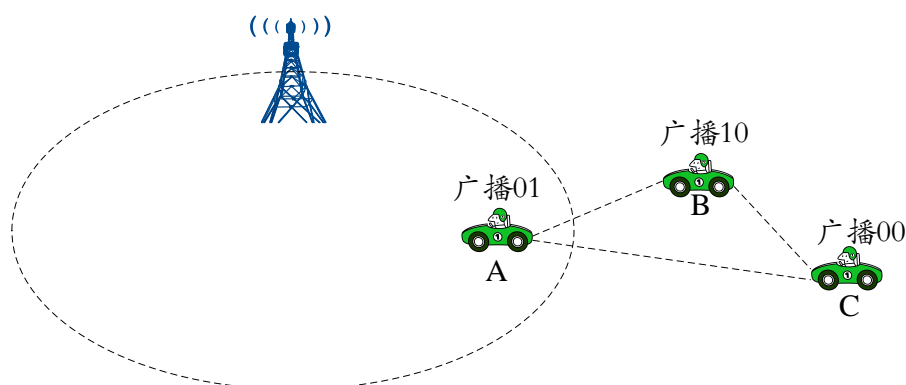


图2.1.4-2: UE所处位置的区分方法

### 2.1.5 基于网络连通性的资源分配

传统的商用无线网络和移动通信技术并没有把 100%的网络连通性作为一个指标。那是因为商用无线通信技术设计的初衷是在大多数时候提供相对好的服务，但是对于网络覆盖差，干扰强以及终端密集的区域而言，通信质量无法得到保证。例如车联网环境，高连通性网络会直接影响到系统的可靠性，甚至是用户的自身安全问题。目前通信技术的发展已经开始面向应用和服务质量，未来通信系统的设计不仅要考虑类似于通信传输速率、延迟等 QoS 参数，还需要考虑无线连接的连通性。

另一方面，蜂窝系统的流量正呈现出爆炸式的增长，频谱资源越来越吃紧。所以，目前类似于 E2E 这种短距离终端直连技术的研究成为了研究热点，也是未来 5G 通信系统中的一项关键技术。在 E2E 通信中，复用小区资源是其一大优势，因为两个终端可以复用小区内的资源进行通信可以大大减少频谱资源紧缺的问题，以此提高系统容量。但是，当终端间复用小区资源进行通信会对蜂窝系

统带来干扰，为了避免这样的问题，必须限制终端的通信范围。这样的问题未来由中心控制节点（例如基站）来控制完成。中心控制节点分配给 E2E 终端的小区资源会直接限制 E2E 终端的可达通信范围，影响 D2D 终端间的连通性。传统的资源分配问题仅考虑了提高系统容量等问题，没有考虑节点复用资源时所引起的连通性问题。

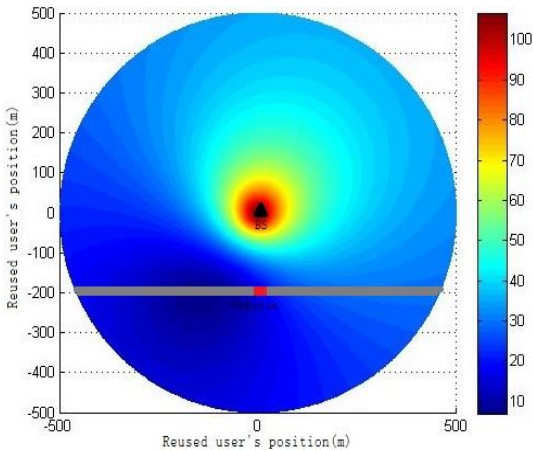


图2.1.5-1：节点复用小区内不同终端资源所能达到的最远传输距离

目前，我们采用基于动态规划的资源分配算法已经可以得出这类问题的最优解，但是，这种方法的复杂度较高，节点稀疏的场景下可以很好的使用。另一种基于贪婪算法的资源分配方法可以高效的得出这类问题的次优解，但是不能保证所得的解是最优。因此，对于未来高密度的场景下，必须提出一种更高效可靠的资源分配算法来解决基于提高连通性的资源分配问题。

### 2.1.6 快速直连终端的发现

节点发现技术分为两种：直接发现（Direct Discovery）和网络协助发现（Network assisted discovery）。

在直接发现中，节点通过发送带有自身 ID 信息的 beacon 消息使接收到该消息的其他节点决定是否需要建立连接。这种方法是一种分布式的发现方式，不需要基站的协助。但是，这种方式资源开销较大并存在安全隐患（非法节点的恶意攻击），可靠性得不到保证。

网络协助的发现方式是通过节点将自身的信息及与其他节点的通信意图告知基站，由基站进行控制完成节点发现工作。

---

相比于直接发现方式,网络协助式的发现方法在蜂窝网络中更具优势。但是,相比于分布式的直接发现方式,完全由中心控制的完成节点发现工作显得不那么的灵活。基于节点的应用需求和场景的复杂性,平衡地分配部分功能由节点自身完成,另一部分由基站协助完成的工作方式可能会获得更好的实际效果[1,2]。

节点发现技术设计应考虑到发现的范围、时长、频率、资源效率、信令开销和应用场景。因此, beacon 消息的设计(功率、频率和内容等)和用于节点发现的资源分配问题成为快速节点发现中的重要关键技术。

[1] G. Fodor, E. Dahlman, G. Mildh et al., Design aspects of network assisted device-to-device communications. IEEE Commun. Mag. 50(3), 170–177 (2012)

[2] L. Lei, Z. Zhong, C. Lin et al., Operator controlled device-to-device communications in LTEadvanced networks. IEEE Trans. Wirel. Commun. 19, 96–104 (2012)

## 2.2 协作通信方案介绍

本节介绍基于网络编码的D2D协作通信方案的实现以及MUCC技术。

### 2.2.1 方案1

方案1为基站辅助监听方案,其网络编码示意图如图2.2.1-1所示。引入网络编码技术后,一次完整的数据交换过程由D2D通信的两步扩展成了三步:

1) 在第一个传输时隙, D2D 通信的其中一个用户UE1 向另外一个D2D 用户UE2 发送数据; UE2 接收UE1 发送的数据; 与此同时, 基站对这次传输进行监听并保存监听到的数据。

2) 在第二个传输时隙, 与时隙一类似, UE2 向UE1 发送数据; UE1 接收UE2 发送的数据; 与此同时, 基站对这次传输进行监听并保存监听到的数据。

3) 在第三个传输时隙, 基站将前两个时隙监听到的两个用户的数据进行网络编码, 并向UE1 和UE2 同时发送编码后的数据。

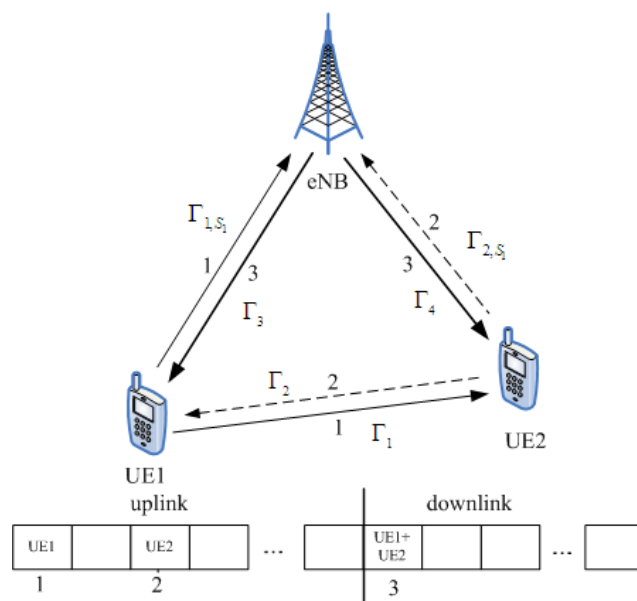


图2.2.1-1：基站进行网络编码协助D2D通信方案

## 2.2.2 方案 2

方案2为邻近UE辅助监听方案，如图2.2.2-1所示。在方案2中，以D2D用户附近的第三个用户取代了方案1中基站角色。另外还添加一个额外的前提条件：第三个用户分别到D2D用户的距离均小于D2D用户之间的距离。方案2一次完整的数据交换过程同样分为三步：

1) 在第一个传输时隙，D2D 通信的其中一个用户UE1 向另外一个D2D 用户UE2 发送数据；UE2 接收UE1 发送的数据；与此同时，位于附近的第三个用户UE3 对这次传输进行监听并保存监听到的数据。

2) 在第二个传输时隙，与传输时隙一类似，UE2 向UE1 发送数据；UE1 接收UE2 发送的数据；与此同时，UE3 对这次传输进行监听并保存监听到的数据。

3) 在第三个传输时隙，UE3 将前两个时隙监听到的两个用户的数据进行网络编码，并向UE1 和UE2 同时发送编码后的数据。

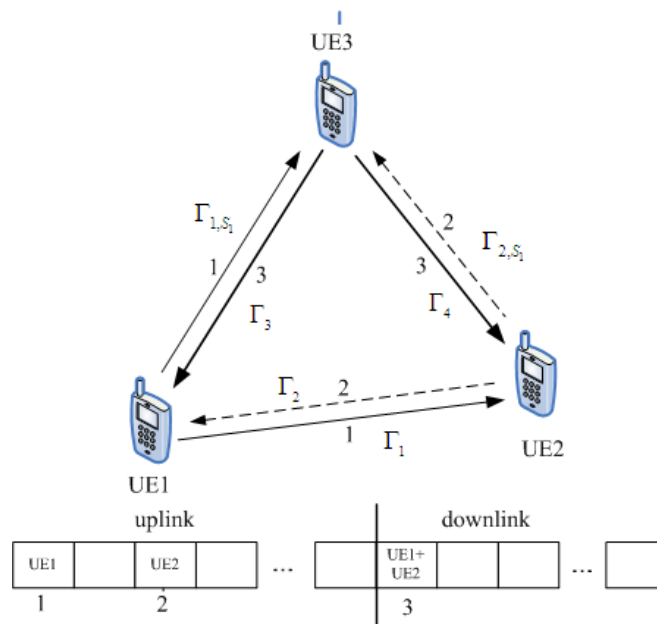


图2.2.2-1：邻近UE进行网络编码协助D2D通信方案

### 2.2.3 方案3（MUCC，Multiple User Cooperative Communication）

当多个进行蜂窝通信的 UE 相距较近时，它们可以组成一个组，假设组内 UE 之间的短距离通信流畅，那么，基站准备给组内某个 UE（称为受益 UE，B-UE）发送数据时，可以在实际发送过程中发给当时该组内蜂窝信道条件最好的那个 UE（称为支撑 UE，S-UE），之后这个 S-UE 再通过组内短距离通信将数据转给 B-UE，当然，如果当时 B-UE 本身的信道条件就是最好的，那么基站可以直接将数据发送给 B-UE。如果在每次发送时刻都是这样操作，那么相当于组内每个 UE 在自己的每个数据传输时机上都具有了当时组内最好的 UE 的信道条件，从而提升了通信效率。一种特殊的情况是，在某段时间内，B-UE 由于受到遮挡，信道条件一直不好，则在这段时间内就只能通过 S-UE 转发数据了。

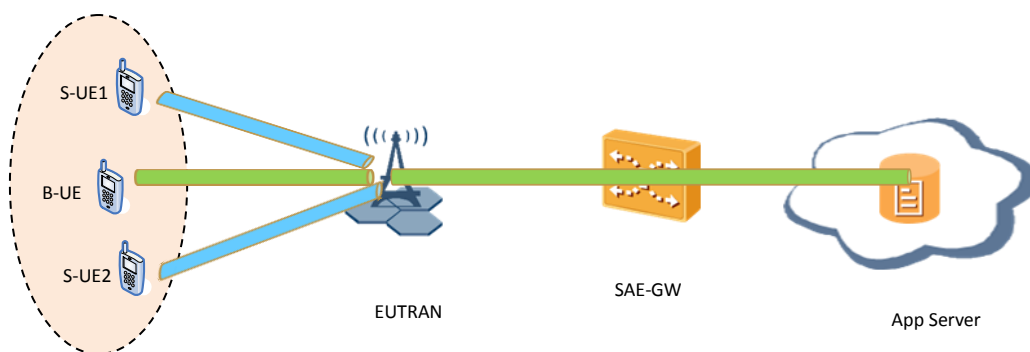


图2.2.3-1: MUCC网络架构

如图 2.2.3-1 所示，几个 UE 组成一个 MUCC 组，当基站在某时刻要发送一个数据给 B-UE，可以选择组内此时信道条件最好的 UE，如 S-UE1，将数据发送给它，S-UE1 再通过短距离通信将数据转发给 B-UE。如果在下一发送时刻，B-UE 本身信道条件就是最好的，那么基站可以直接将 B-UE 的数据发送给 B-UE。由于空口信道总是处于不断的变化中，通过这样的方式，可以利用多用户选择分集的优势，提升通信效率。而 B-UE 的数据在基站以上仍然走 B-UE 自身的核心网承载，因此 MUCC 对计费过程等并无影响。所有 UE 只需为自己的数据支付流量费。S-UE 不会因转交了 B-UE 的数据而被计费。

所谓 B-UE 和 S-UE 的角色，都是从数据的角度来看的。例如，UE1 和 UE2 组成一个 MUCC 组，他们互相协作。当 UE1 有数据收发，从 UE1 的数据角度看，UE1 就是 B-UE，辅助 UE1 的 UE2 就变成了 S-UE。当 UE2 有数据收发，那么从 UE2 的数据角度看，UE2 是 B-UE，协助 UE2 的 UE1 就变成了 S-UE。通过 UE 之间的短距离通信，他们可以互相协作，从而提高了蜂窝通信性能。

此种用户间协作是以无线承载为粒度的，并且需要在 MAC 层添加 MUCC 子层做适配，具体的协议栈如图 2.2.3-2 所示，数据需要在 MUCC 子层做分流和汇聚。

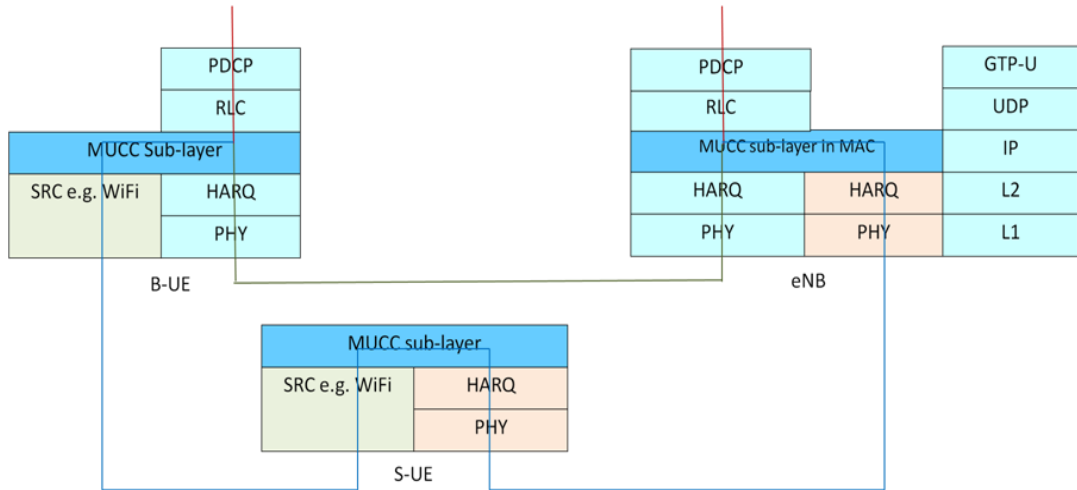


图 2.2.3-2: MUCC 协议

#### 2.2.4 方案 4（多中继系统网络编码）

基于模二加的网络编码技术通常仅适用于包含一个中继节点的网络。在D2D协作通信应用场景中，常常出现网络中有多个用户可以参与协作、行使中继功能的情况。例如，商场里商家的广告推送、会议室里的工作资料分发、足球场里的多视角照片共享等。由于各个信源的潜在信宿数量较多，信源消息往往无法直接抵达所有信宿。此时，如果已经完成解码的用户将来自不同信源的数据进行网络编码再广播出去，则未成功从信源收到信息的用户可以利用这个机会，从协作的中继节点获得需要的信息。用户间通过协作获得空间分集增益，提高传输可靠性。

然而，在这类多信源多中继网络中，如果每个中继节点将来自多个信源的消息通过模二加进行网络编码（即将信源比特流在二阶有限域相加），系统并不能获得最大的分集增益。这是因为信宿节点从不同中继获得相同的编码数据，相当于无效冗余，不能进一步辅助解码。因此，系统的分集增益与只有一个中继的情况相同，无法最大化系统性能。为解决这个问题，可以用将信源比特流在高维有限域相加的方式进行网络编码。例如，考虑一个包含有 $M$ 个信源和 $K$ 个中继的协作通信网络。假设第 $k$ 个中继使用编码系数 $\alpha_{k,m}$ 对第 $m$ 个信源消息 $I_{S_m}$ 进行编码，其编码后的码字为 $I_{R_k} = \sum_{m=1}^M \alpha_{k,m} I_{S_m}$ ，式中加和在高维有限域进行。由此，信源和中继的消息可以用下式表示

$$\begin{bmatrix} I_{S_1} \\ \vdots \\ I_{S_M} \\ I_{R_1} \\ \vdots \\ I_{R_K} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \\ \alpha_{1,1} & \alpha_{1,2} & \cdots & \alpha_{1,M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{K,1} & \alpha_{K,2} & \cdots & \alpha_{K,M} \end{bmatrix}}_{\mathbf{G}} \begin{bmatrix} I_{S_1} \\ \vdots \\ I_{S_M} \end{bmatrix}$$

选择编码系数 $\alpha_{k,m}$ 使得由转移矩阵 $\mathbf{G}$ 中任意 $M$ 行组成的矩阵为非奇异矩阵（即满秩），信宿可由其从任意 $M$ 个节点收到的消息恢复出全部信源消息，此时系统获得最大的分集增益。此有限域网络编码（finite-field network coding, FFNC）方式与信道编码系统中的极大距离可分码（maximum distance separable (MDS) code）构筑思想相同，因此也可称为MDS-FFNC。例如，下图所示为一包含两个信源两个中继和两个信宿的D2D协作通信网络，D2D通信复用蜂窝用户的上行资源。此时为了获得系统的最大分集增益3（对每一个信源消息来说，其传输可以经过3条独立的无线信道，即由其信源及两个中继分别抵达信宿），两个中继可以在四阶有限域 $\text{GF}(4)$ 上选取编码系数 $\alpha_{1,1} = 1$ ,  $\alpha_{1,2} = 1$ ,  $\alpha_{2,1} = 1$ ,  $\alpha_{2,2} = 2$ ，即两个中继的码字为 $\text{GF}(4)$ 上的加和 $I_{R_1} = I_{S_1} + I_{S_2}$ 和 $I_{R_2} = I_{S_1} + 2I_{S_2}$ 。若中继数目不定，且有可能为一较大值，则编码方式趋近于随机网络编码（random network coding），有限域的维数需取得较大，编码系数为随机数。

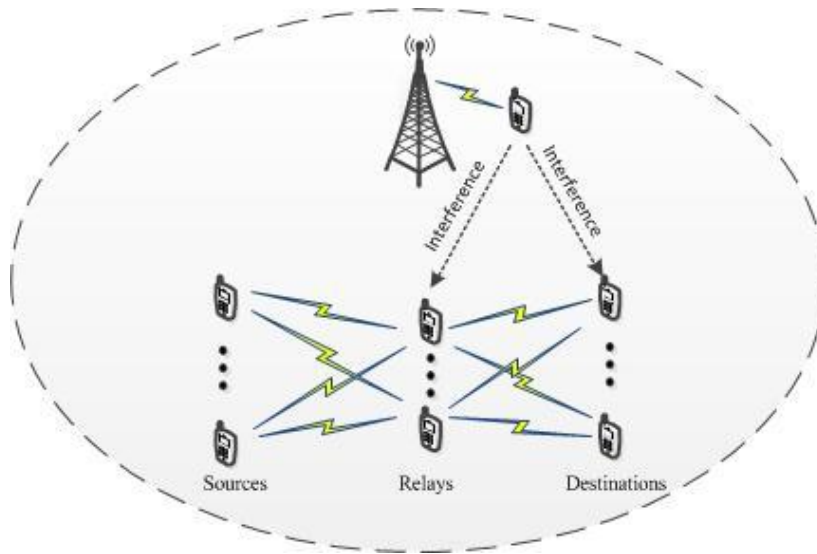


图2.2.4-1:  $2 \times 2 \times 2$  D2D协作通信系统



### 2.2.5 多跳传输动态路由算法

在TDCT数据共享网络中，由于TDCT终端的可移动性，导致数据共享网络拓扑结构和各路径信道状态呈现动态变化的特征，因此，合理的路径选择方法是保证共享网络工作的关键问题。如图2.2.5-1所示，给出了适合于在多跳TDCT数据共享网络中使用的集中式动态路由算法逻辑框架图。其中主要分为“拓扑发现”，“拓扑维护更新”和“路径选择及网络建立”三个部分。

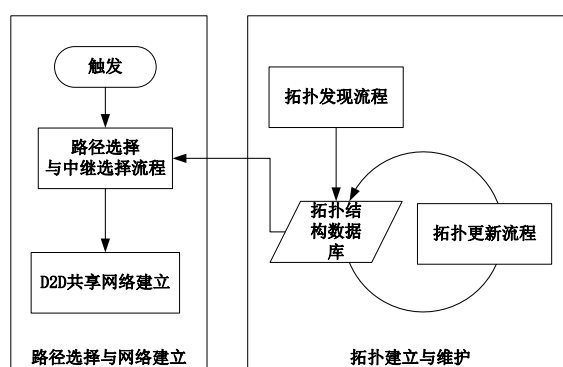


图2.2.5-1 动态多跳传输动态路由算法框图

#### ➤ 拓扑发现流程

TDCT数据共享网络与固网及Ad-Hoc网络的最大区别在于TDCT网络存在集中控制节点（如eNB），从而避免传统路由算法中的泛洪式拓扑信息收集带来的信令开销和时延。图2.2.5-2给出了基于TDCT数据共享网络的集中式拓扑发现流程。

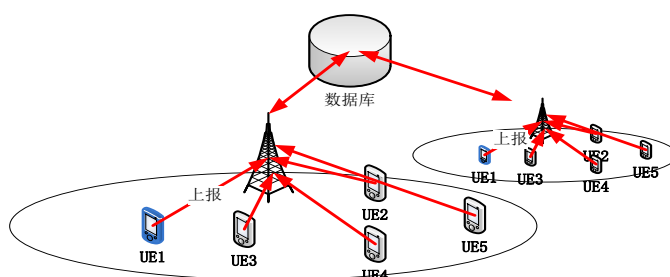


图2.2.5-2 拓扑发现流程

TDCT终端在网络的控制下或自发的发起拓扑发现流程，发现并测量临近可达UE的TDCT链路状态并上报网络侧。该步骤可在目前3GPP给出的Discovery过程的基础上增强后完成。在拓扑信息上报时，UE除了向网络上报自身可达UE

列表，还需要上报对应的链路状态信息，并考虑UE移动状态等综合因素给出该拓扑信息有效时间范围。为了实现跨基站的拓扑信息收集，基站间可以对各自掌握的拓扑信息进行交互或者上报给上一级专用数据库，如图2.2.5-3所示。

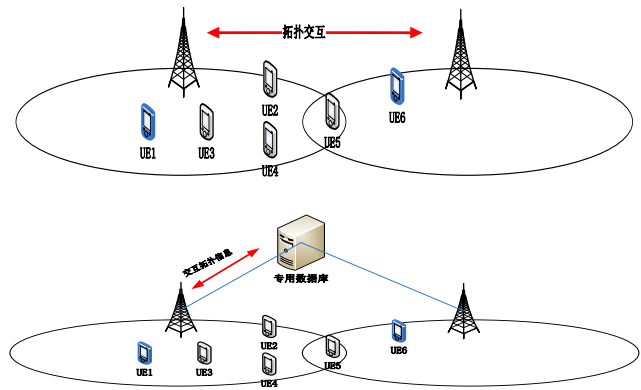


图2.2.5-3 跨基站的拓扑发现

➤ 拓扑维护更新流程

由于TDCT终端的可移动性，TDCT数据共享网络具有高度动态的特征，需要在拓扑结构或链路状态发生变化时，及时的维护并更新路由信息，如2.2.5-4所示。协作网络各节点需在网络的控制下，或者自发的对各各相关链路进行监控。当拓扑结构发生变化时（如某节点UE关机等），触发拓扑更新流程，并上报网络侧。为了避免断路对数据传输的影响，即使的选择其他优选路径，UE可以在某相关路径信道状态变差到某个地步时同样发起拓扑结构更新流程

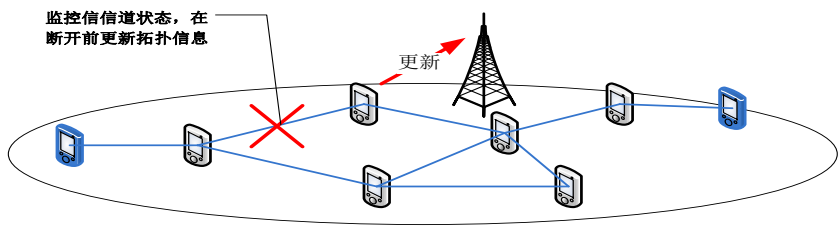


图2.2.5-3拓扑更新维护流程

➤ 路径选择及网络建立

在1.2节给出的业务场景下，网络侧结合已掌握的拓扑信息，根据某种算法进行路径选择，接入控制，并最终完成TDCT数据共享网络的承载网络拓扑。

➤ 潜在信令流程需求

---

根据2.2.5的方案描述，需在高层：

- 定义“拓扑发现”相关的测量及上报流程和相关信令；
- 定义“拓扑更新维护流程”相关的拓扑更新流程；
- 定义“路径选择及网络建立”中的路径选择和建立相关流程和信令。
- 定义“拓扑更新维护流程”相关的拓扑更新流程；

### 2.2.6 多中继系统网络编码在消息分发中的应用

本文考虑的消息分发场景如图2.2.6-1所示，室内的D2D终端复用室外的小区内某个蜂窝用户的上行资源， $M$ 个相互独立的信源（ $S_1, \dots, S_M$ ）需要各自发送 $M$ 个消息（ $I_{S_1}, \dots, I_{S_M}$ ）给 $N$ 个信宿（典型场景如商场内的商家广告消息推送，室内会议室的文件分发等）。其中，我们考虑三种中继进行协作通信。

1. 有线中继（Wired Relay）：中继通过与信源的有限连接，可以准确获得所有的信源消息；
2. 无线中继：（Wireless Relay）：基站选择覆盖范围内空闲的D2D终端作为无线中继进行协作通信。如果在其工作时刻之前可以解出至少 $M$ 个消息，则在给其划分的工作时隙进行消息的编码广播，否则，就一直处于空闲状态。
3. 协作中继（Cooperative Relay）：基站在 $N$ 个信宿中选择协作中继，除了作为信宿接收消息，在通信过程中如果成功解出至少 $M$ 个消息，则对所接收到的信源信息进行网络编码并转发给其他信宿，否则一直处于接收状态。

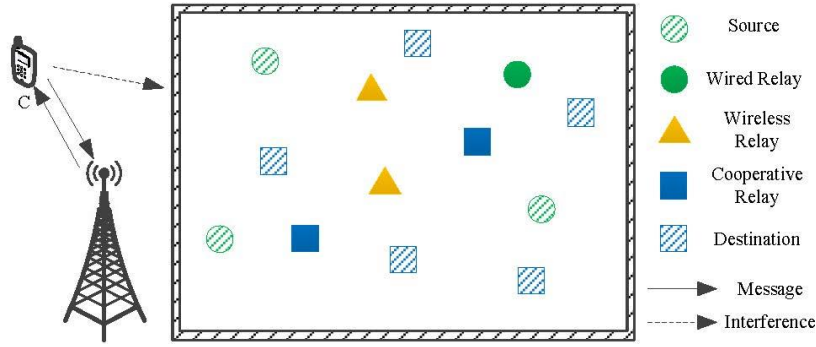


图2.2.6-1. 系统模型：基于网络编码的多信源D2D消息分发系统

假设系统中有 $L$ 个有线中继 ( $R_1^s, \dots, R_B^s$ )， $B$ 个无线中继 ( $R_1^w, \dots, R_B^w$ ) 并在 $N$ 个信宿中选取 $K$ 个协作中继 ( $R_1^c, \dots, R_B^c$ )，通信过程如图2所示。首先 $M$ 个信源使用 $M$ 个时隙 (slot) 将各自的信息进行广播，随后， $L$ 个有线中继将准确接收到的 $M$ 个信源消息根据MDS-FFNC进行编码并占用 $L$ 个slot广播。在此过程中，无线中继，协作中继和信宿一直处于接收信息的状态。在 $M+L+i$ 时刻 ( $1 \leq i \leq B$ )，如果 $R_i^w$ 在之前的 $M+L+i-1$ 个时隙中成功解出了至少 $M$ 个消息，则其对接收到的消息进行编码再广播，否则， $R_i^w$ 处于静止状态。同样的，在接下来的 $B-1$ 个时刻，无线中继根据自身是否能解出至少 $M$ 个消息的情况进行工作。最后的 $K$ 个时隙中，协作中继同样根据自身接收的消息情况进行工作。不同的是，作为既是信宿又是中继，协作中继需要将所有的 $M$ 个信源消息都解出才算通信成功，因此，在非工作时刻，如果协作中继没有解出至少 $M$ 个消息，则一直处于接收状态。

### 2.2.7 使用于 D2D 协作通信的协作分集方法

#### 技术原理

协作分集的基本思路是信源节点以广播或多播的形式发送通信业务消息，收到该业务消息的中继节点对其进行转发，所有中继节点转发使用的时频资源和转发的消息内容完全一致，并使用带有随机相位差的传输波形。接收节点处收到的波形是多个带随机相位差的中继节点波形叠加形成的，从而为系统引入功率增益和分集增益。

协作分集通常以逐跳转发的形式实现，相同跳数的所有中继节点在与跳数对应的相同时频资源上进行转发，直至达到最大转发跳数为止。中继节点收到上一

---

跳发送的消息后，可通过简单的时频资源映射方案，通过上一跳使用的资源位置确定当前跳数使用的转发资源位置。

### 主要优势

协作分集技术在多中继或复杂拓扑场景下，具备功率与分集增益、复杂度低易于调度、可能减少业务占用的时频资源等优势。

- 功率增益与分集增益

协作分集中，多个中继节点发送的信号由于使用相同的资源位置，可在接收节点处呈现功率叠加状态，起到提高接收等效SINR的效果，引入功率增益；中继节点处使用的随机相位差可为系统引入分集增益。因此，协作分集技术可有效地在单跳传输过程中降低系统误码率，并扩大单跳传输范围。

因此，在D2D节点分布零散、相距较远，或处于城市等复杂环境，导致通信链路质量较差的各类低SINR场景下，协作分集方案具有显著的优势，不但能改善系统的传输性能，提升业务可靠性；而且可以通过功率增益与分集增益，实现覆盖增强的效果。该优势将随着中继节点数目的增长得到放大。与此相比，网络编码方案只能通过分集增益减少低SINR的损害，系统性能改善相对较小。

- 低复杂度

网络编码的复杂度主要体现在实施复杂度和计算复杂度两方面。在拓扑较复杂时，网络编码方案中，若中继节点数目有限，使用预配置的MDS-FFNC编码矩阵，则需要系统事先部署，会影响系统的灵活性并造成高实施复杂度。若中继节点数目不固定，或中继节点较多，使用随机网络编码，则需要选取维度较高的GF域内的网络编码，因此节点在编解码时将引入可观的计算复杂度。

协作分集的实现过程独立于网络拓扑形态，在较复杂的网络拓扑中无需对单个节点进行编码相关的预配置，无需预先实施路由发现与路径选择，因此简化了系统配置过程并提高系统灵活性，与网络编码相比在系统实施复杂度方面有显著优势。另一方面，由于协作分集无需基于高维GF域的复杂编码支持，信号检测与编译码相对简单，且中继节点处无需再次编码，计算复杂度较网络编码大幅度降低。

---

协作分集的低复杂度也体现在资源调度过程中。协作分集技术中，信源节点仅需进行一次资源预约即可获取某项业务在网内传播需要的所有资源，中继节点无需进行资源预约，仅需根据接收资源位置计算转发资源位置，资源调度机制简单易于实现；与此相比，网络编码需要逐跳、逐节点进行资源预约，考虑到其中可能发生的控制消息碰撞与节点可用数据资源冲突，该过程相对而言更加复杂。

此外，协作分集使用的洪泛通信形态天然具备对抗信道不稳定和路由频繁变化的能力，适合应用于移动性较高或需要支持抗毁性的通信系统中；且在此类场景中的实施方式与普通场景中相同，无需再行配置，不会引入额外的复杂度。

- 更低的资源占用

从整个系统的角度出发，某些业务场景下，与网络编码相比，协作分集可能进一步减少业务占用的传输资源数量。以全网广播业务场景为例，协作分集中，某个给定的消息报文在整个系统内，任意跳数上只会被转发一次，占据唯一的资源位置；反之网络编码中为了令给定报文达到网内每个节点，需要多块资源位置进行转发，即使考虑到系统内时频资源的复用，仍将需要更高的资源数量。

此外，与协作分集中业务仅信源节点进行一次资源预约抢占相比，网络编码方案中，转发过程需要所有参与节点逐跳、逐节点进行预约，该预约过程造成的控制资源消耗也不容忽视。

协作分集引入的功率增益与分集增益除提高业务可靠性、增强覆盖范围外，另一优点是在同等拓扑状况下，协作分集技术中可以使用更高的码率，从而减少业务数据映射后对应的资源块数量，直接减少业务的资源占用。

### **缺点及改进手段**

协作分集技术中，由于通信以洪泛的形式传播，因此参与某项业务的节点数目较大，其中可能会存在部分无关节点进行不必要的业务中继转发，从而造成系统资源的浪费。

为解决该问题，可以考虑引入一些额外的制约策略，包括：

- 根据业务形态选择是否使用协作分集：对于信宿节点为系统内大部分节

---

点的业务（e.g. 集群业务，组播业务等）选择使用协作分集，对于其他类型业务选择不使用协作分集。

- 在业务消息中携带一些额外的指示信息（e.g. 业务从属组、链路质量阈值等），接收节点根据该指示信息确定是否进行洪泛转发。
- 使用在网络编码与协作分集间进行切换的协作通信方案，

### 协作分集/网络编码的切换策略

结合网络编码与协作分集两类方案各自的优缺点，此处提出一种在网络编码与协作分集间进行切换的协作通信方案。在该方案中，节点可根据若干项与网络编码和协作分集的性能相关的典型参数，将其结合考虑，在参数状态达到某类门限时触发网络编码与协作分集间的切换机制。

系统中初步考虑可以作为切换触发条件的参数包括：

- 节点密度：包括小区内节点密度，D2D邻节点数目，对于某项通信其中继节点的数目和密度等；
- 信道质量：包括源节点处的信道质量和单个中继节点处的信道质量等；
- 节点的资源调度情况；
- 对于给定通信，其接收功率和误包率等；
- 业务需求、高层配置等；

该切换机制可由基站调度或辅助触发，也可由D2D终端自行触发；可在合适的传播机制辅助下，将切换状态告知参与通信的全部节点或系统内所有节点，也可仅在局部（e.g.单跳）范围内进行；以上均为可行的后续考虑方案。通信系统最终通过在网络编码和协作分集间灵活进行切换，实现在不同场景和变化的拓扑及参数下，最优化系统性能。

## **2.2.8 评估与结论**

本节对2.2.1至2.2.7小节所述两种基于网络编码协助的D2D通信方案进行大

尺度仿真研究。假设D2D UE和Macro UE使用不同的频段，即D2D UE和Macro UE之间不会互相干扰。D2D UE发送数据采用LTE下行部分频段。具体的仿真参数如下表所示：

表2.2.8-1 D2D采用网络编码的系统仿真参数

Parameter		Assumption/Value
Simulation case		Urban Macro, downlink, 3D
Channel model		Urban Macro
Cellular layout		Hexagonal grid, 7 sites, 3 sectors per site, wrap-around
UE number		18 UEs per sector
Drop number		500
Total eNB TX power		40watts, 46dBm
Total UE TX power		0.251watts, 24dBm
Inter-site distance (ISD)		500 m
Distance-dependent Path loss(dB)	eNB-B-UE	<p>If <math>R &lt; 0.32</math>, <math>PL_{LOS}(R) = 34.02 + 22\log_{10}(R)</math>, <math>R</math> in kilometers</p> <p>If <math>R \geq 0.32</math>, <math>PL_{LOS}(R) = -11.02 + 40\log_{10}(R)</math>, <math>R</math> in kilometers</p> <p><math>PL_{NLOS}(R) = 19.56 + 39.1\log_{10}(R)</math>, <math>R</math> in kilometers</p> <p><math>Prob(R) = \min(0.018/R, 1) * (1 - \exp(-R/0.063)) + \exp(-R/0.063)</math>, <math>R</math> in kilometers</p>
	UE-UE	<p>If <math>R \leq 0.05</math>, <math>PL(R) = 98.45 + 20\log_{10}(R)</math>, <math>R</math> in kilometers</p> <p>If <math>R &gt; 0.05</math>, <math>PL(R) = 55.78 + 40\log_{10}(R)</math>, <math>R</math> in kilometers</p>
Shadowing standard deviation	macro to UE	6 dB
	UE	6 dB



	to UE	
Correlation distance of Shadowing		50 m
Shadowing correlation	Between sites	0.5
	Between cells per site	1.0
Penetration loss	macro to UE	5 dB
	UE to UE	5 dB
Fast fading model	eNB-UE, UE-UE	SCME
Bandwidth		10 MHz
Subcarrier spacing		15 kHz
Resource block size		180 kHz (12 subcarriers)
Subframe duration		1.0 ms
Number of OFDM symbols per subframe		14, 11 used for data
Minimum distance between UE and eNB		25 m
Minimum distance between UE and UE		0 m
Frequency reuse factor		1
Thermal noise density		-174 dBm/Hz
Antenna pattern for macro eNBs to UEs		$A(\theta) = -\min \left[ 12 \left( \frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2, A_m \right]$ $\theta_{3dB} = 70 \text{ degrees, } A_m = 20 \text{ dB (70 degree horizontal)}$

(horizontal)	beamwidth)	
Antenna pattern for macro eNBs to UEs (vertical)	$A(\theta) = -\min \left[ 12 \left( \frac{\theta - \theta_{etilt}}{\theta_{3dB}} \right)^2, SLA_v \right]$ $\theta_{3dB} = 10 \text{ degrees}, \theta_{etilt} = 15 \text{ degrees}, SLA_v = 20 \text{ dB}$	
Antenna pattern for macro UEs to UEs	0dBi antenna gain, Omni	
eNB antenna gain (incl. cable loss)	15 dBi	
UE antenna gain	0 dBi	
eNB	2 antenna	
UE	2 antenna	
UE speed	3 km/h	
UE noise figure	7 dB	
Control channel model	Ideal	
Channel Estimation	Non Ideal	
Power control (not optimized)	eN B to UE	P0 = -83 dBm; alpha = 0.8
	UE to UE	P0 = -70 dBm; alpha = 0.8

### 2.2.8.1 方案 1 仿真结果

分别统计同构网下行传输情形，标准D2D通信，D2D通信小组加入基站协助的网络编码情形三种模式下的用户平均和容量，仿真结果如图2.2.8.1-1所示：

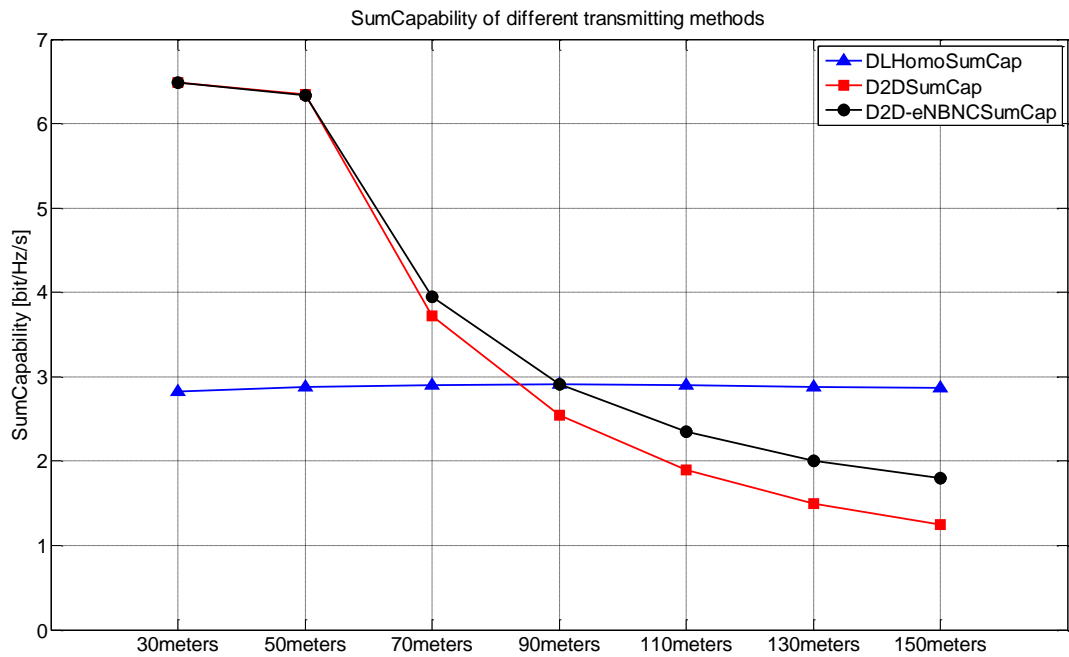


图2.2.8.1-1 几种通信方法的用户平均和容量对比

分析图2.2.8.1-1可以得出以下结论：

在近距离通信（约小于 60 米）的时候，因为基站到 D2D 用户的距离远大于用户相互间的距离，所以 D2D 用户到基站的上行链路 SINR 大于 D2D 用户之间的链路 SINR 的概率非常小，从而能够利用基站进行网络编码的概率接近于 0。也就是说，在近距离通信时，基站协助的网络编码基本无法应用。在中等距离（约 60~80 米）通信的时候，利用基站协助做网络编码的 D2D 通信与标准的 D2D 相比传输速率更高，但增益有限，且传输速率的增益随着距离的增加而变大。出现这种结果的原因是，此时基站到 D2D 用户的距离与 D2D 用户之间的距离的差值缩小，从而基站到 D2D 用户的下行链路 SINR 与 D2D 用户相互之间的链路 SINR 相比可能存在一定的增量，所以此时有网络编码协助的 D2D 传输速率更高。在远距离（约大于 80 米）通信的时候，虽然与标准的 D2D 相比，利用基站协助做网络编码的 D2D 的传输速率增益随着通信距离的增大而递增，但是此时两种 D2D 方法的传输速率都不如同构网下行传输情形。所以在这种距离上，D2D 通信已不再适用。

### 2.2.8.2 方案 2 仿真结果

分别统计同构网下行传输情形，标准D2D通信，D2D通信小组加入邻近UE协助的网络编码情形三种模式下的用户平均和容量，仿真结果如图2.2.6.2-1所示。

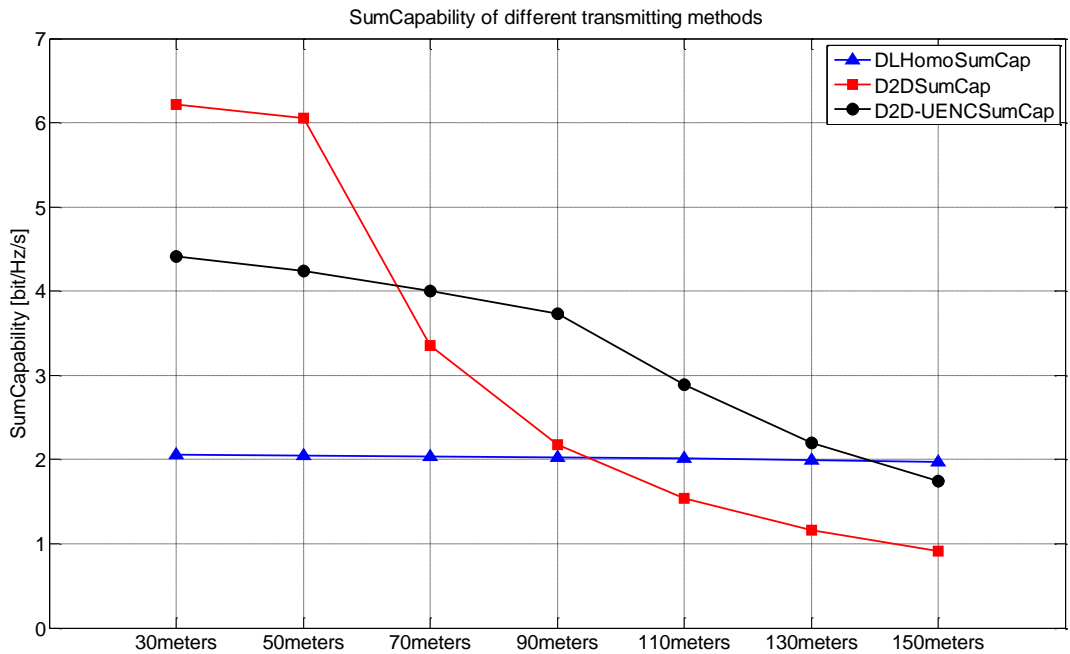


图2.2.8.2-1 几种通信方法的用户平均和容量对比

从图2.2.8.2-1可见，在中等距离（约60~90米）及较远距离（约90~130米）通信的时候，利用邻近UE协助做网络编码的D2D通信与标准的D2D相比传输速率更高，且传输速率的增益随着距离的增加而变大。导致这种结果的原因是，此时D2D用户之间的距离与邻近UE分别到D2D用户的距离的差值变大，从而邻近协作UE到D2D用户的下行链路SINR与D2D用户相互之间的链路SINR相比增加值足够大，所以此时有网络编码协助的D2D传输速率更高。而且上述距离差距越大，传输速率的提高也越大。

### 2.2.8.3 方案 3 仿真

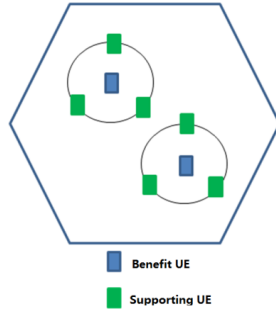
本小节对 2.2.3 小节所述 MUCC 通信方案进行仿真研究。具体的仿真假设如表 2.2.8.3-1 所示：

表2.2.8.3-1 MUCC采用的仿真假设

Parameters	Assumptions
Scenarios	3GPP Case 1
Duplex	FDD
System bandwidth	10MHz
UE speed	3km/h
Traffic	Full buffer
Handover margin	1.0 dB
Downlink transmission scheme	LTE Rel-8 4x2 MIMO
Downlink HARQ scheme	HARQ-CC
Downlink receiver type	MMSE
Link adaptation	Non-ideal, CQI measurement error: $N(0, 1\text{dB})$ per half-PRB. CQI: 4ms delay 2ms period; PUCCH-based feedback, mode 2-1.
Antenna configuration at base station	Horizontal polarized
Antenna configuration at UE	Horizontal polarized, with 0.5 lambda spacing
Overhead assumption	DL overhead: 3 OFDM symbols for DL CCHs, Antenna Port 0 CRS.

### 2.2.8.3.1 场景一

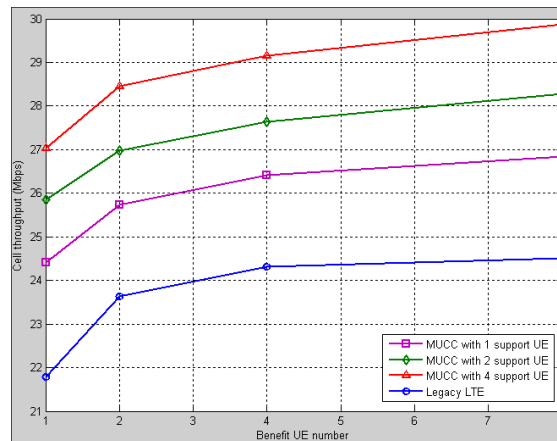
拓扑: 7 个站址, 每站址 3 个小区, B-UE 随机布在小区里, S-UE 在以 B-UE 为圆心的圆周上随机分布。这里所有的 UE 都是单角色 UE, 即 S-UE 只用来支撑, B-UE 不用作支撑。图 2.2.6.3.1-1 展示了小区里有两个 B-UE, 每个 B-UE 有三个 S-UE 的场景。



2.2.8.3.1-1: 场景一拓扑

调度算法：在传统 PF 算法的基础上进行了一些小的修改，在一次调度中，认为 B-UE 的 CQI 值是在 B-UE 以及各个 S-UE 中最好的一个 CQI，则 B-UE 会进入 PF 队列，如果一个 B-UE 被调度了，它的数据会被发送给组中（包括此 B-UE 及其各个 S-UE）信道质量最好的一个 UE。

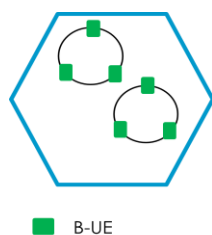
结果：图 2.2.8.3.1-2 展示了不同情况下的吞吐率，（1）“Legacy LTE”是无协作且使用 PF 调度算法的情况；（2）另外 3 条曲线是每个 B-UE 有不同数量 S-UE 的情况下的吞吐率。从图中可以看出，随着 S-UE 数量的增加，吞吐率也不断增长。当只有 1 个 S-UE 时，吞吐率的增益分别是[12% 8.8% 8.7% 9.5%]，当 S-UE 的数目增加到 4 时，吞吐率的增益分别为[24.1% 20.3% 19.9% 21.9%]。



2.2.8.3.1-2: 场景一仿真结果

## 2.2.8.3.2 场景二

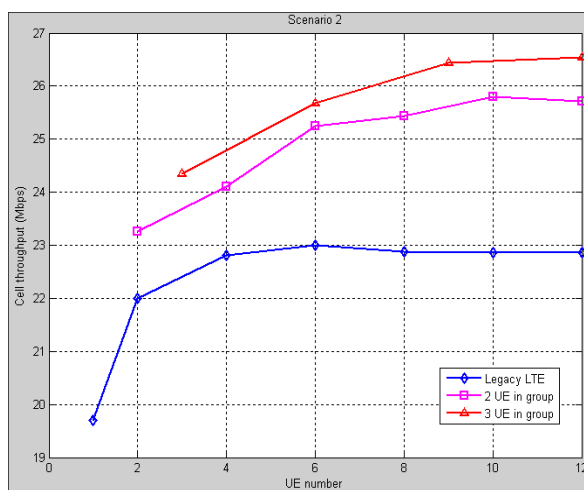
拓扑：与场景一一致，区别在于，所有的 UE 不仅是 B-UE，还是一个 S-UE，即每个 UE 均可被同组中其它 UE 支撑，如图 2.2.6.3.2-1 所示。



2.2.8.3.2-1: 场景二拓扑

调度算法：仍为 PF 算法，即每次调度时，每个 UE 会使用组中信道质量最好的 UE 的 CQI。

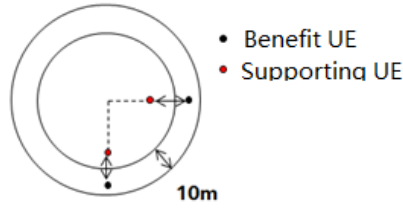
结果：图 2.2.8.3.2-2 展示了 4 种不同情况的吞吐率，（1）“Legacy LTE”含义与场景一中一致；（2）“2 UE in group”为 2 个 UE 为一组互相支撑；（2）“3 UE in group”为 3 个 UE 为一组互相支撑。X 轴代表一个小区中的 UE 总数，Y 轴代表小区平均吞吐率。从图中可以看出，有协作的情况吞吐率远高于“Legacy LTE”，与后者相比较，当有 4 组，每组有 3 个 UE 时，最大增益大约为 16.3%。



2.2.8.3.2-2: 场景二仿真结果

### 2.2.8.3.3 场景三

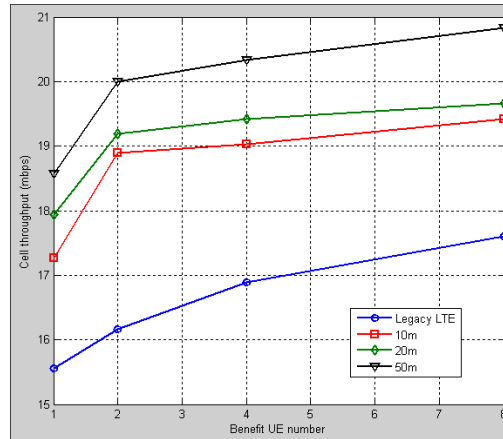
拓扑：如图 2.2.8.3.3-1 所示，B-UE 分布在圆环外，S-UE 分布在圆环内，且位于 B-UE 与圆心的连线上。S-UE 与 B-UE 间距分别设置为 10m、20m 和 50m。每个 B-UE 都有一个 S-UE 支撑。



2.2.8.3.3-1: 场景三拓扑

调度算法：与场景一一致。

结果：图 2.2.8.3.3-2 展示了 4 种不同情况的吞吐率，（1）“Legacy LTE”含义与场景一一致；（2）“10m”、“20m”和“50m”分别代表 S-UE 与 B-UE 间不同距离的情况。从图中可以看出，当 S-UE 与 B-UE 间距离为 50m 时，相比于 Legacy LTE，小区吞吐率的增益可达到[19% 23.6% 20.4% 18.3%]。



2.2.8.3.3-2: 场景三仿真结果

#### 2.2.8.3.4 仿真总结

从上面的仿真中可以有如下结论：

- MUCC 可以提高系统吞吐率；
- S-UE 越多，系统吞吐率越高；

需要指出的是，仿真中假定 UE 间的短距离通信信道是理想的（无损）。如果考虑的是真实环境中的短距离通信，如 wifi，则系统吞吐率会一定程度下降。

#### 2.2.8.4 方案 4 仿真结果

此节考虑包含4个信源、2个中继和2个信宿的D2D协作通信场景。D2D传输



复用一個蜂窝用户的上行资源，蜂窝用户在D2D系统接收节点产生的平均干扰功率为1dB。四个信源相互独立，若任意一个信宿不能成功解码任意一个信源信息则视为通信失败。在此系统中，有三种传输模式可以选择：

1) 无用户协作的直接D2D通信：信源消息不经中继直接发送给信宿，此模式使用4个资源发送4个独立信源信息，信道利用率高，但系统的分集增益小，易受无线信道衰落及干扰影响，传输可靠性（解码错误率）随信噪比增加的改善较为缓慢。

2) 基于重复编码（repetition coding）的D2D协作通信：中继解码后不进行网络编码操作，而是使用与信源相同的信道编码将信源消息独立转发给信宿。此模式能够给系统带来分集增益3，极大改善通信可靠性。但它需要12个资源完成4个信源消息的传输（每个中继需要4个资源转发所有信源消息），信道利用率低。

3) 基于MDS-FFNC的D2D协作通信：中继解码后以MDS-FFNC将信源信息编码，再转发给信宿。此模式使用6个资源完成4个信源信息的传输（每个中继用1个资源转发网络编码后的信源消息），并能够充分利用2个中继获得分集增益3，因此在信道利用率和传输可靠性方面同时具有优势。

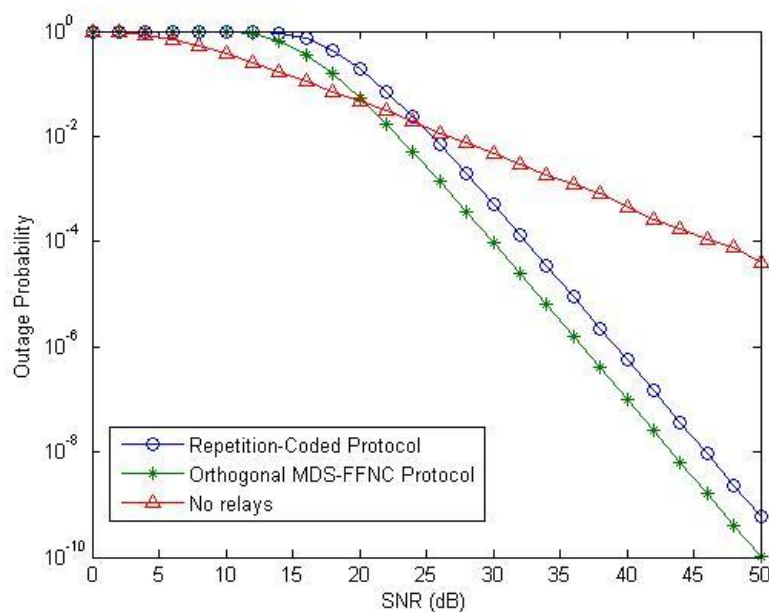


图2.2.8.4-1 几种通信方法的系统中断概率比较

图2.2.8.4-1所示为上述三种传输模式的中断概率（outage probability）仿真。为保证比较的公平性，仿真中假设三种模式中每个信源的平均传输速率相等，为1 BPCU (bit per channel use)，即模式1中每个信源消息含4比特信息，模式2中每个信源消息含12比特信息，模式3中每个信源消息含6比特信息。由图可见，低信噪比下，由于模式1中每个链路的传输速率最低，其解码错误率也最低。随着信噪比的增加，分集增益带来的通信质量提升更显著，此时通过终端协作获得的通信性能迅速高于无协作的情况。而相同信噪比条件下，使用网络编码将优于不使用网络编码的系统。可以证明，随着网络节点数的增加，网络编码的优势将更加显著。

### 2.2.8.5 方案 6 仿真结果

此节考虑包含2个信源、1个有线中继、1个无线中继和20个信宿的D2D协作通信场景。D2D传输复用蜂窝用户C的上行资源（C用户距离D2D用户距离为200m），蜂窝用户的发送功率为D2D终端的3倍。2个信源相互独立，若任意一个信宿不能成功解码任意一个信源信息则视为通信失败。其他仿真参数如表2.2.8.5-1所示。在此系统中，有三种传输模式可以选择：

- 1) 无用户协作的直接D2D通信：信源消息不经中继直接发送给信宿；
- 2) 基于重复编码（repetition coding）的D2D协作通信：中继解码后不进行网络编码操作，而是使用与信源相同的信道编码将信源消息独立转发给信宿；
- 3) 基于MDS-FFNC的D2D协作通信：中继解码后以MDS-FFNC将信源信息编码，再转发给信宿。

表2.2.8.5-1. 仿真参数

参数	数值
系统带宽	10MHz
D2D终端平均距离	30m

信道模型	Rayleigh fading
D2D间的路损模型	$PL(dB) = 38.46 + 20\log_{10}(d)$ , d in m
蜂窝用户C与D2D终端间的路损模型	$PL(dB) = 15.3 + 37.6\log_{10}(d)$ , d in m
墙的穿透损耗	20dB
干扰密度	-174dBm/Hz

图2.2.8.5-2所示为上述三种传输模式的中断概率(outage probability)仿真。为保证比较的公平性，仿真中假设三种模式中每个信源的平均传输速率相等，为1/2 BPCU (bit per channel use)。由图可见，低信噪比下，由于模式1中每个链路的传输速率最低，其解码错误率也最低。随着信噪比的增加，分集增益带来的通信质量提升更显著，此时通过终端协作获得的通信性能迅速高于无协作的情况。而相同信噪比条件下，使用网络编码将优于不使用网络编码的系统。此外，在低信噪比时，没有使用协作中继的网络中断性能要优于使用协作中继的情况。但随着信噪比的增加，使用协作中继系统的性能会显著提高。可见，在协作中继的使用中存在着一种平衡有待我们的进一步研究。

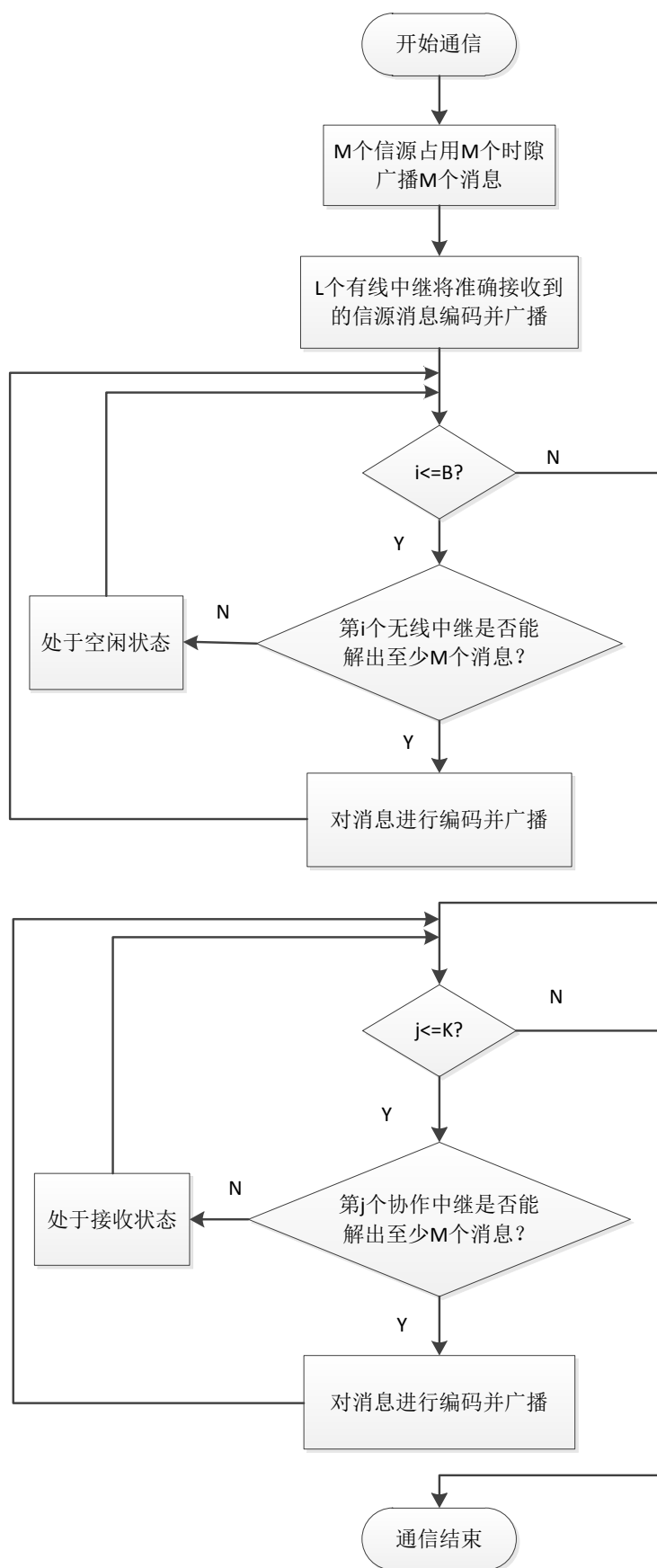


图2.2.8.5-1. 通信过程流程图

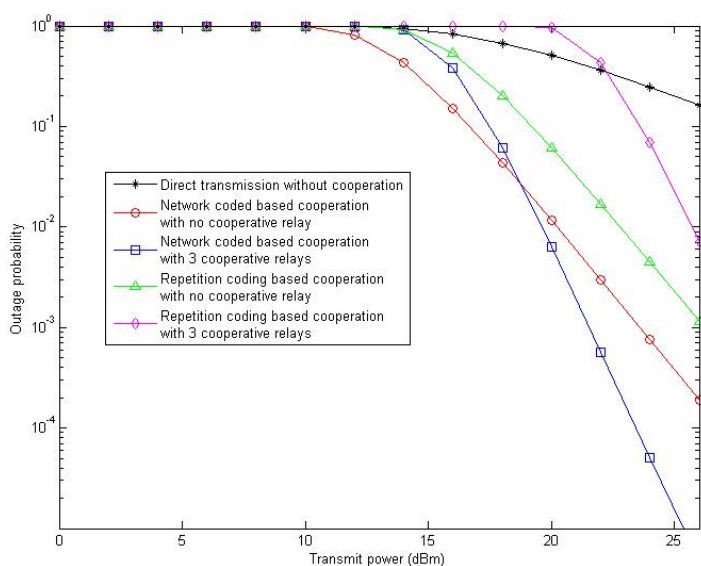


图2.2.8.5-2. 几种通信方法的系统中断概率比较

图2.2.8.5-3所示为将系统的中断概率限制在 $10^{-4}$ 时，使用不同的通信模式所需要消耗的能量比较，此处的平均传输速率设为 $1/6$  BPCU。由图可见，使用基于重复编码的D2D协作通信需要消耗最多的能量。这是因为当D2D终端的传输速率较低时，系统工作在一个较低的信噪比区域，因此，传输效率是影响系统性能的主要因素。而基于重复编码的D2D协作通信需要每个节点将所有的消息重复发送，导致耗费大量的时隙资源。直接通信方式虽然所需的时隙资源最少，但是由于其较差的通信成功性能导致需要较大的传输功率以满足系统的中断性能。而MDS-FFNC编码技术既能大大减少系统的终端概率又能高效的利用频谱资源，因此所需要消耗的能量最少。

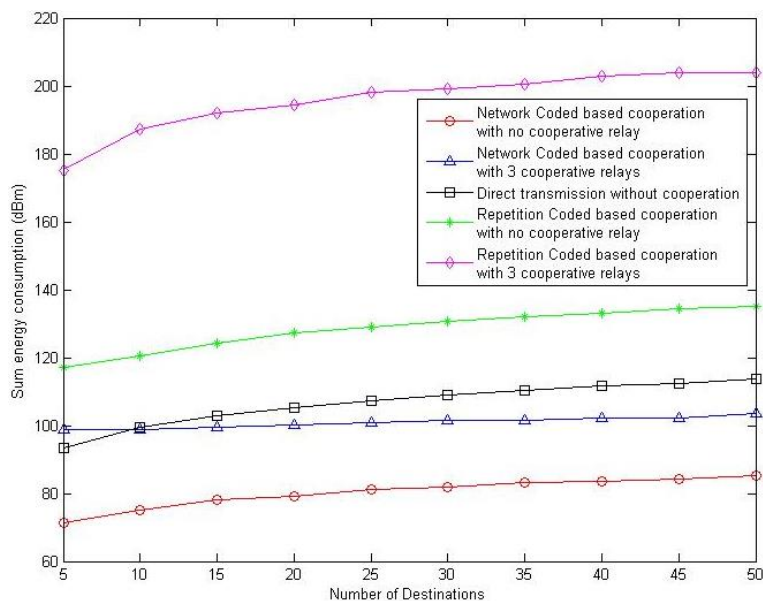


图2.2.8.5-3. 系统中断概率小于 $10^{-4}$ 时几种通信方法的传输能量消耗比较

## 2.2.8.6 方案7 仿真结果

### 实施范例

图2.2.8.6-1为逐跳传播的协作分集技术的一个典型范例，图中画出了区域网络内所有节点的物理分布，并在该拓扑分布下，标明指定信源节点后，每一跳的协作分集传输过程，其中以颜色标识不同跳数的节点，以虚线标识通信路径。图中节点分布较密集的区域中，邻近范围内的多个同跳数节点转发的信息将以叠加的方式被下一跳接收节点接收。

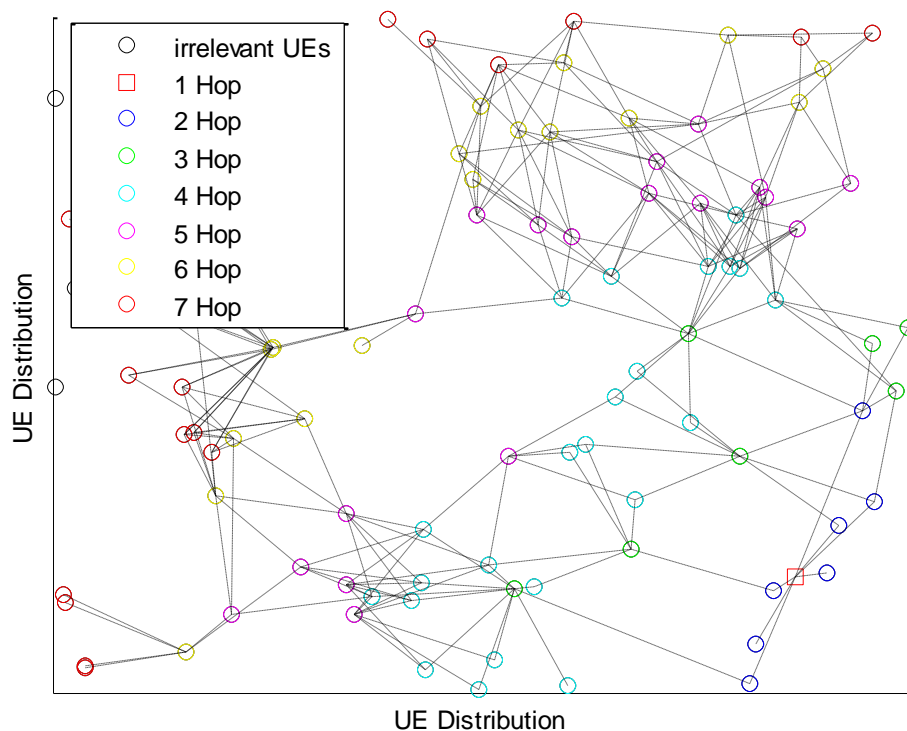
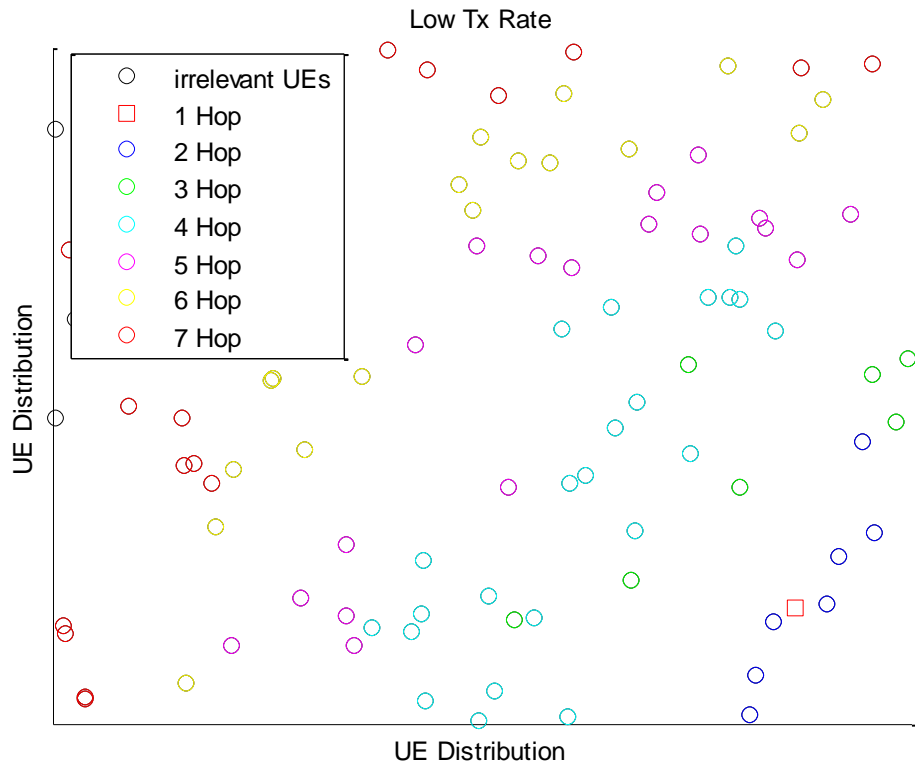


图2.2.8.6-1 协作分集传输过程

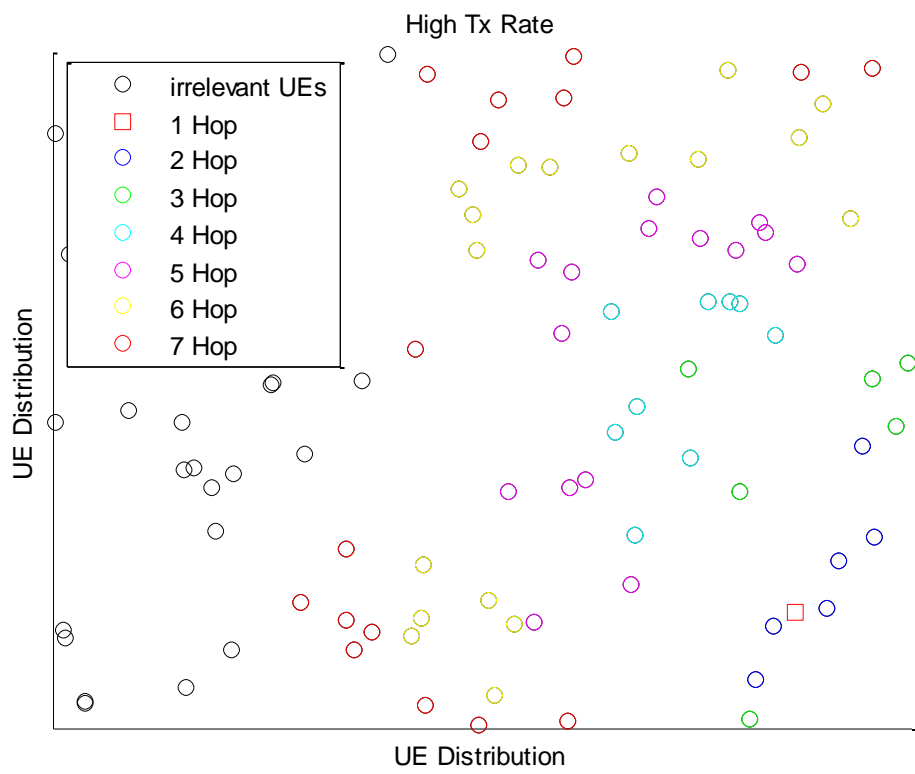
- 覆盖范围与传输速率间的trade-off

协作分集技术中，由于所有中继节点需要转发相同的内容，在系统内多条信道的质量差异较大时，可能会造成部分物理上联通的信道因为使用过高的MCS进行转发，导致信息无法成功接收的现象。

该现象在实际中通常呈现为协作分集的覆盖范围与传输速率间的trade-off。图2.2.8.6-2为该现象的一个范例。在信源节点使用低传输速率时，中继节点可以在单跳内将消息发送到通信范围内所有节点，覆盖范围和洪泛速度方面表现好，但业务整体传输速率较低；在信源节点使用高传输速率时，业务整体传输速率较高，但初始几跳只覆盖部分节点，通信范围内的其它节点需要在若干跳后多个中继节点叠加发送，形成较高的功率增益时才能成功接收，也即业务洪泛的速度较慢，且给定跳数下的覆盖范围相对较小。



(a) 低传输速率 (Tx)



(b) 高传输速率 (1.5Tx)



图2.2.8.6-2 不同传输速率下的协作分集传输过程

下表为使用如图2.2.8.6-2所示的不同传输速率时，系统在协作分集给定跳数下的平均/最大传输距离、给定跳数的节点数量与给定最大跳数限制下的参与节点数量等传输性能指标。

表 2.2.8.6-1 不同传输速率下的协作分集传输性能

跳数	传输速率	(到信源节点的) 平均传输距离/m	(到信源节点的) 最大传输距离/m	节点数量(当 前跳数)	节点数量 (截 至当前的所有 跳数)
2	Tx	477.8	1033.7	7	7
	1.5Tx	447.3	1033.7	6	6
3	Tx	1224.4	1569.3	7	14
	1.5Tx	1189.0	1569.3	6	12
4	Tx	1596.3	2165.7	23	37
	1.5Tx	1548.0	1972.1	9	21
5	Tx	2293.8	2715.9	18	55
	1.5Tx	1913.7	2548.2	15	36
6	Tx	2863.8	3226.2	17	72
	1.5Tx	2391.1	3013.8	17	53
7	Tx	3331.2	3991.2	19	91
	1.5Tx	2552.3	3522.1	16	69

由于存在以上trade-off，协作分集技术中信源节点进行传输速率选择时，可以在满足系统指标的前提下（e.g.保证在系统最大跳数内，能够覆盖到业务的全部信宿节点）选择尽可能高的传输速率。具体的实现手段包括通过结合路由选择分析传输速率、定时或在业务开始前进行速率训练等、根据场景使用MCS典型值。在计算出以上可达到的最大传输速率后，信源节点也可选择低于最大传输速率的其它值，以确保业务传输的可靠性。

## 2.3 业务连续性方案介绍

### 2.3.1 基于功率控制和模式切换的业务连续性方案

#### TDCT RRM 测量

根据1.3.2节中给出的TDCT研究范围，实现TDCT通信内及与传统业务的业务连续性，需要首先实现TDCT 信道的RRM测量机制。

注意到3GPP D2D课题中定义的解调用Sidelink reference signals，因此，业务连续性的RRM测量可以借用Discovery signal过程实现。如下图所示：

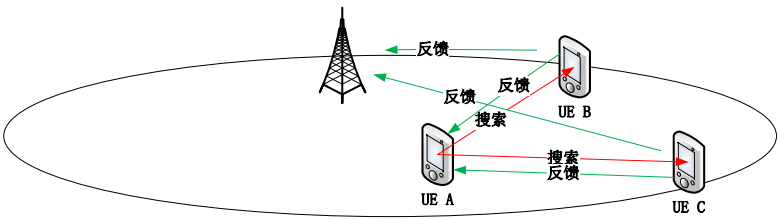


图2.3.1-1：基于Discovery signal RRM测量

#### 业务连续性模式选择

控制节点（基站或UE）在成功接收到TDCT信道反馈后，根据预设的门限进行业务连续性模式选择。为了实现1.3节中给出的对UE节能性能的需求，可以将模式切换和功率控制联合使用，实现联合的业务连续性保障，如下图所示：

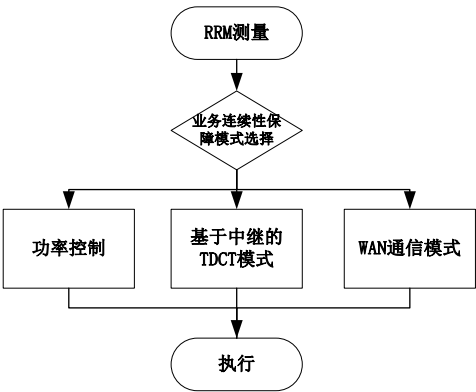


图2.3.1-2：业务连续性模式选择逻辑框图

其中，

---

“功率控制模式”需根据业务QoS要求，在一定取值范围内选择适当的功率控制方向（增强功率和降低功率），以实现TDCT通信性能和能耗的平衡

基于“中继的TDCT模式”可结合1.2节给出的“TDCT协作通信”方案进行中继选择，以保障最佳的TDCT通信性能；

当“功率控制模式”和“中继的TDCT模式”都无法满足TDCT通信的预设QoS要求时，通信模式转换到“WAN通信模式”。

潜在信令流程需求

根据2.3.1给出的方案描述，要实现“基于功率控制和模式切换的业务连续性方案”，需定义相关的流程和信令。根据框图所示，方案大致分为三个阶段：“RRM测量与反馈”，“模式选择与通知”和“业务连续性模式执行”过程。

### 2.3.2 模式切换时的数据前转方案

根据1.3.2节给出的TDCT业务连续性研究范围，当进行直接的TDCT通信与基于中继TDCT通信及WAN模式通信时，需要保障模式转换过程中的数据转发连续性。根据业务QoS的定义，此种类似的模式切换可分为“无损切换”和“无缝切换”两种模式。

其中，“无损切换”模式要求在模式切换过程中尽可能的保证“已传输但未获取ACK/NACK反馈”的高层数据包的无丢包前传；而“无缝切换”模式要求在模式切换过程中尽可能快速的进行数据包前传，而没有是否丢包的具体要求。为此，形成如下两种数据包前传方案：

方案一：无损切换模式

无损切换模式适用于对误码率要求较高的TDCT业务，如FTP传输等，该业务对模式切换过程中产生的适当时延并不敏感，而应尽可能避免模式切换过程中由于丢包带来的性能损失。

根据基站是否可向核心网网管提交乱序的高层数据包，可以将WAN-to-TDCT模式切换数据前传分为“顺序模式”和“乱序模式”。

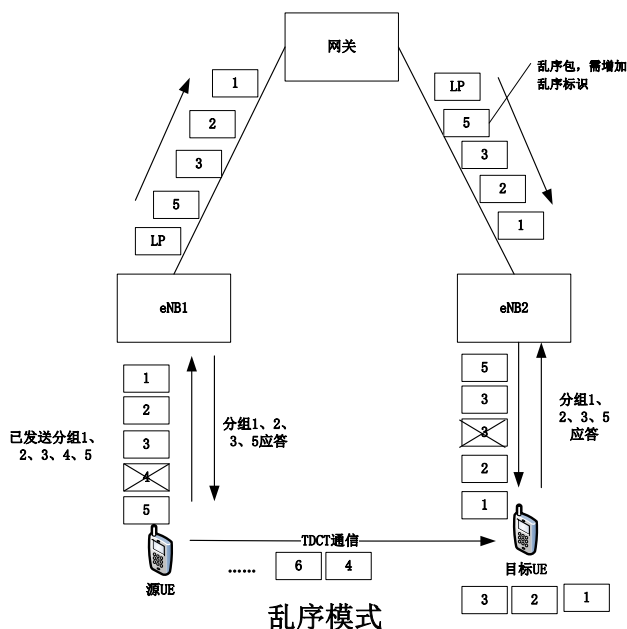
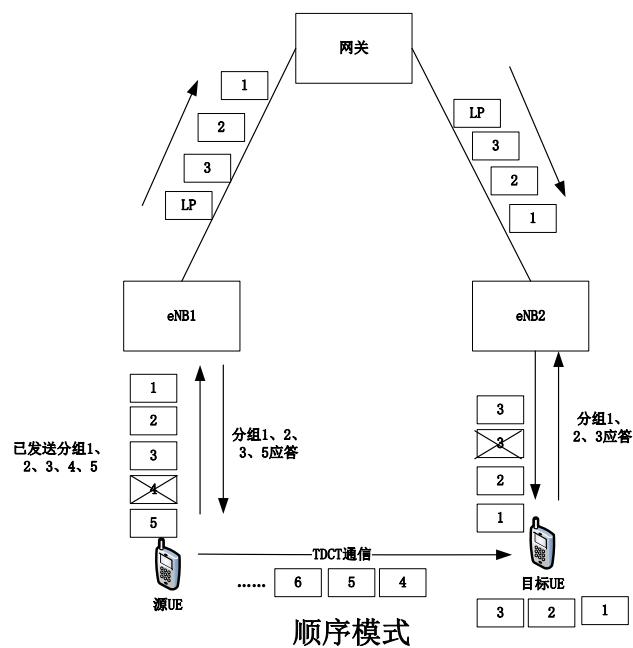


图2.3.2-1： WAN-to-TDCT模式切换数据前传

如上图所示，为实现数据包前传，需在最后一个前传数据包头增加结束标识LP（LP，Last Parket），以告知对端UE数据前传的数据包结束位置。

此外，为实现数据包的乱序传输，需在发生乱序的数据包头中增加标识为乱序数据包的标识符（如右图所示数据包5），以避免UE长期等待未发生前传的数据包（如右图所示数据包4）而带来的无谓时延。

为避免由于信道状态恶劣，导致的长期等待前传数据重传带来长期时延（如

上图所示目标UE接受数据包3时），可定义定时器T，当定时器超时后，丢弃数据包继续模式切换。

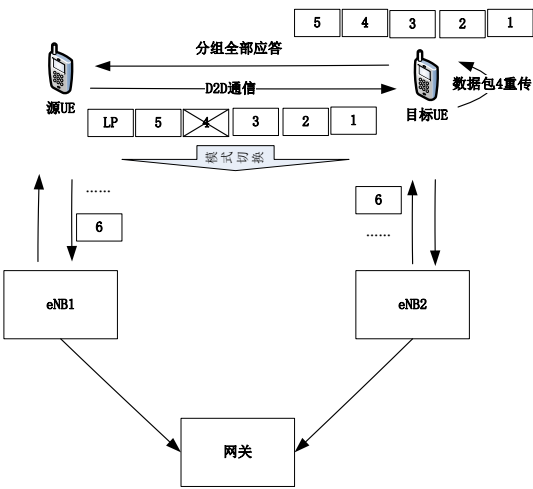


图2.3.2-2. TDCT-to-WAN模式切换数据前传

方案二：无缝切换模式

与无损切换模式不同，当业务对时延要求敏感，但对误码率无特殊要求时（如视频和语音传输），系统在模式切换时，应重点保障前传数据的时效性。

在WAN-to-TDCT的模式切换时，对端基站（如图2.3.2-2所示eNB2）可避免对目标UE进行数据包的重传，而在发现LP标识时，直接进行模式转换。甚至，在切换请求发起时，直接进行模式切换而无需考虑前传数据包是否成功接收。

2.3.3 评估与结论

本节将对功率控制方案和模式切换的业务连续性方案进行初步的仿真评估，仿真假设WAN UE与D2D UE处于不同的频段，WAN UE 对D2D用户的干扰很小，可以忽略。下表给出仿真的具体参数：

Parameter	Assumption/Value
-----------	------------------

表 2. 3. 3-1 D2D 系统仿真参数

<b>LTE Layout</b>	Hexagonal grid, 19 sites, 3 sectors per site
<b>Carrier Frequency</b>	2GHz
<b>System bandwidth</b>	10MHz Uplink
<b>UE mobility</b>	3 km/hr
<b>UE RF parameters</b>	Max transmit power of 23 dBm
<b>Average number of communication sessions per cell</b>	Unicast: $6/12(N_u)$
<b>Minimum distance between UE and eNodeB</b>	$\geq 35\text{m}$
<b>Minimum distance between UEs</b>	$\geq 3\text{m}$
<b>Wraparound</b>	Wraparound is used.
<b>Minimum association RSRP for D2D communication (X)</b>	(-82dBm, -97dBm)

表 2. 3. 3-2 D2D 系统仿真信道参数

Parameter	Outdoor to Outdoor
<b>Pathloss</b>	$PL_{B1\_tot}(d) = \max(PL_{\text{freespace}}(d), PL_{B1}(d))$ where d is distance between UEs $PL_{\text{freespace}}$ is free space path loss (Eq. 4.24 in [4]), $PL_{B1}$ is the Winner + B1 ([5] Table 4-1) channel model for hexagonal layout with the following offsets <ul style="list-style-type: none"> <li>• LOS offset = 0 dB</li> <li>• NLOS offset = -5 dB</li> </ul> While calculating Winner + B1 pathloss the following values shall be used $h_{BS} = h_{MS} = 1.5\text{m}$ , $h_{BS'} = h_{MS'} = 0.8\text{m}$
<b>LOS Probability</b>	Winner II-B1 ([4] Table 4-7)
<b>Shadowing standard deviation</b>	7 dB log-normal

表 2. 3. 3-3 D2D 系统仿真功控参数

PC Set	Gamma	CLxile (dBm)	$P_{0\_PUSCH}$
1	1	112	-101

2	0.8	129	-92.2
---	-----	-----	-------

2.3.3.1 功控控制方案仿真结果

表 2. 3. 3. 1-1 用户吞吐量增益及节能统计

6 用户（-82dBm）			12 用户（-82dBm）			6 用户(-97dBm)			12 用户(-97dBm)		
用户平均吞吐量提升			5.	6.		2	2				
			15%	76%		3.4%	9.3%				
节 能	6	6	2	2							
	5.2%	5.4%	5.2%	5.2%							

见如下示意图：

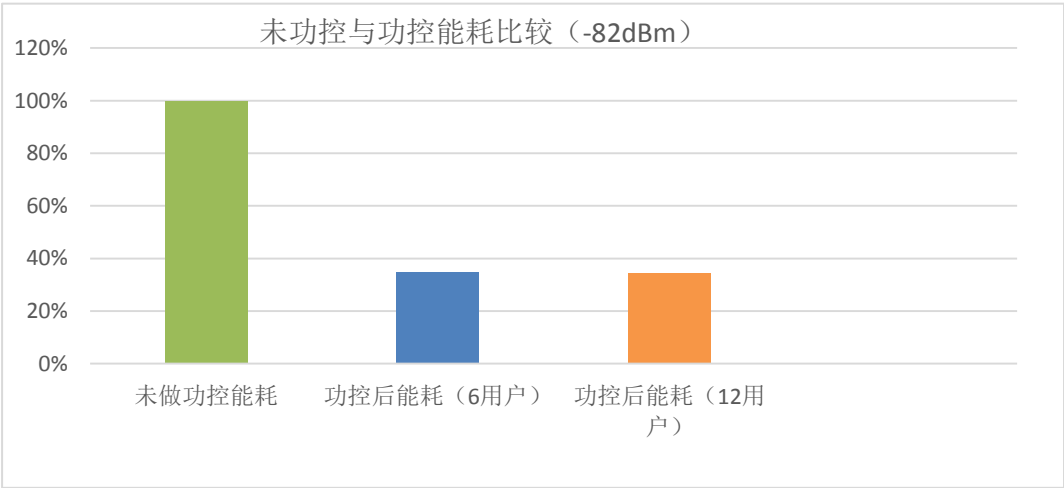


图 2. 3. 3. 1-1 未功控与功控后能耗比较（-82dBm）

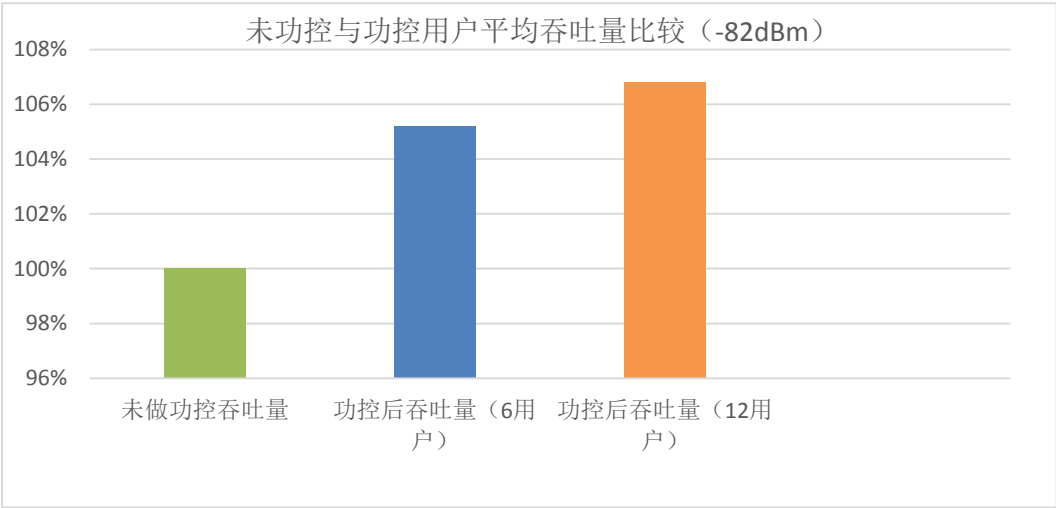


图 2.3.3.1-2 未功控与功控后用户平均吞吐量比较（-82dBm）

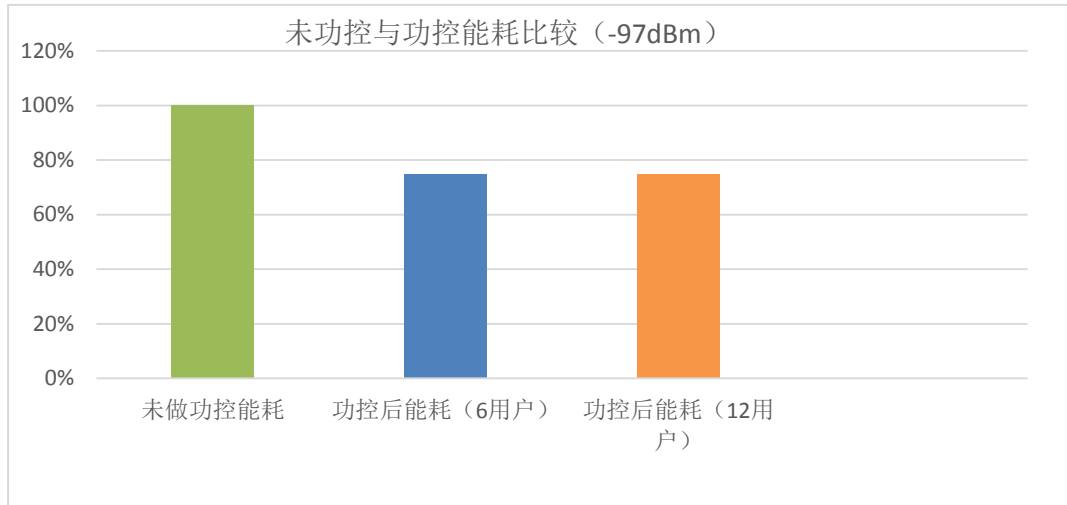


图 2.3.3.1-3 未功控与功控后能耗比较（-97dBm）

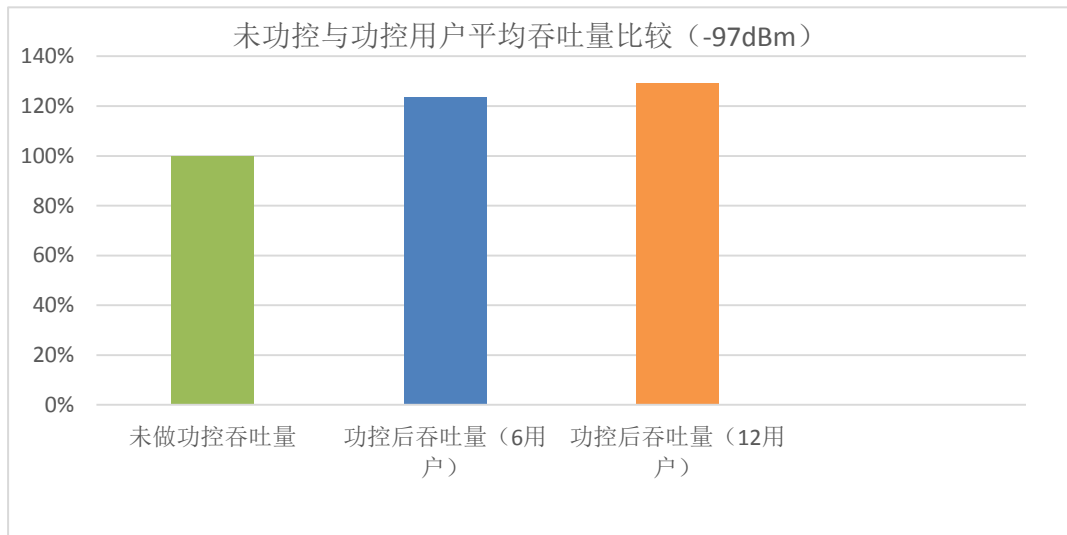


图 2.3.3.1-4 未功控与功控后用户平均吞吐量比较（-97dBm）

说明:

- 1) 表中6用户和12用户均是单播用户;
- 2) 户平均吞吐量提升=求和[(用户功控后吞吐量-用户未功控吞吐量)/用户未功控吞吐量]/用户数\*100%;
- 3) 节能=(未功控能耗和-功控能耗和)/未功控能耗和\*100%;
- 4) 表中-82dBm和-97dBm是D2D建立连接的门限值, 计算出用户的接收功率之后, 可以从大于该门限值用户中任选一个建立连接;



### 结果分析：

- 1) 由表1可以看出用户越多，功控对其的吞吐量影响越明显。原因在于，建立D2D连接的用户越多，对于一对D2D通信来说，干扰源就越多，当用户均以发射功率23dBm进行通信的时候，干扰较大；而用户进行功控之后，干扰将减少。
- 2) 接收功率是用发射功率乘以路损计算得来的，初始发射功率都是23dBm。由表1可以看出，设定的阈值越大，节约的能耗就越多。这是因为阈值越大，在建立连接的时候的就越容易选到信道条件好的用户，从而节能增益明显；
- 3) 信道条件越好，SINR值就越大，功控对其吞吐量影响不明显。

### 2.3.3.2 模式切换方案仿真结果

在 D2D 用户进行移动或者由于无线信道不确定性导致信道恶化时，用户的接收信号变小，TDCT 通信质量变差，考虑将 UE 从 TDCT 模式转换为传统的基于基站的通信模式。以下是仿真结果：

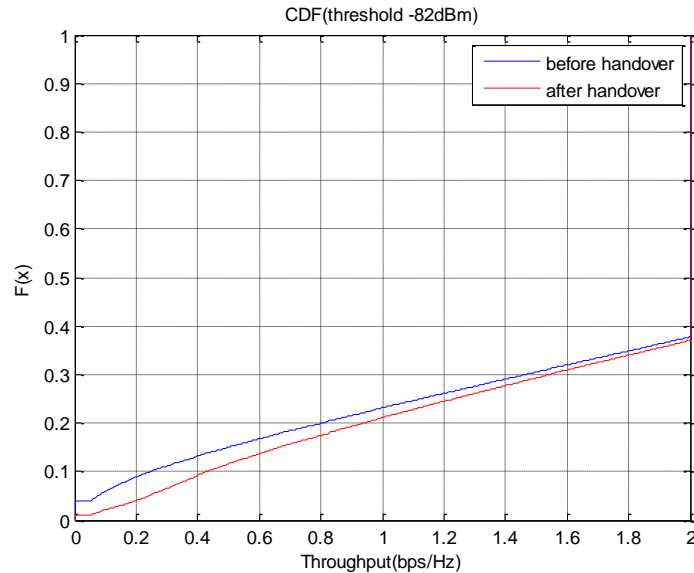


图 2.3.3.2-1 切换前后用户吞吐量 CDF 曲线（门限值为-82dBm）

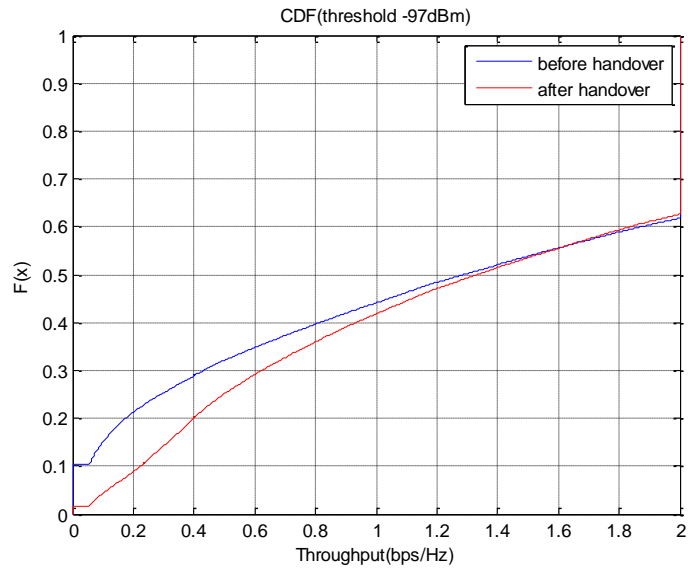


图 2.3.3.2-2 切换前后用户吞吐量 CDF 曲线（门限值为-97dBm）

另统计两种门限情况下的用户平均吞吐量提升和平均切换率，见下表

表 2.3.3.2-1 用户吞吐量增益及切换率统计

	-82dBm	-97dBm
切换策略下用户平均吞吐量提升	17.26%	36.32%
平均切换率	5%	18%

说明：

- 1) 建立连接的时候选的是-82dBm 和-97dBm 这两个门限，切换的时候门限值是-112dBm。
- 2) 平均切换率=求和（每次切换用户数）/仿真次数/用户数。

结果分析：

- 1) 比较图 5 和图 6 CDF 曲线可以看出，两个门限值下的用户吞吐量，无论是切换前还是切换后，在门限值为-82dBm 时，用户的 5%和 50%吞吐量更高，有 60%以上的用户达到了仿真中设定的吞吐量上限；门限值为-97dBm 时，有 30%以上的用户达到了吞吐量上限。原因是门限值高的情况下，用户更容易选择信道条件好的用户建立连接，从而 SINR 的值和吞吐量都会更容易取得更高的值。
- 2) 由表 5 中数据可以看出，门限值为-97dBm 时用户平均吞吐量提升的更

多，也就是需要切换的用户更多；反之，门限值为-82dBm 的用户平均吞吐量提升的少，需要切换的用户少，原因在于其信道条件好，用户更容易达到吞吐量上限，吞吐量提升的空间小。

- 3) 由表 5 中数据可以看出，门限值为-97dBm 时用户平均切换率高于门限值为-82dBm 时的用户平均切换率。原因在于降低用户建立连接的门限值，在 D2D 用户配对过程中，用户更有可能选到信道条件相对差的用户。用户移动之后，或者随着信道的动态变化，信道进一步恶化的可能性大，有可能不能满足用户的正常通信，导致通信中断，需要切换。即，提高用户建立终端直连通信的接收功率门限值，可以有效降低用户的切换率。

## 2.4 Low Cost D2D 方案介绍

针对对时延不敏感、对成本敏感的物联网系统，可以采用分级M2M接入的方式。这种系统中，物联网终端通过中继终端接入到蜂窝网络，物联网终端和中继终端之间采用低成本的设备与设备之间的直接通信。如图2.4-1所示。

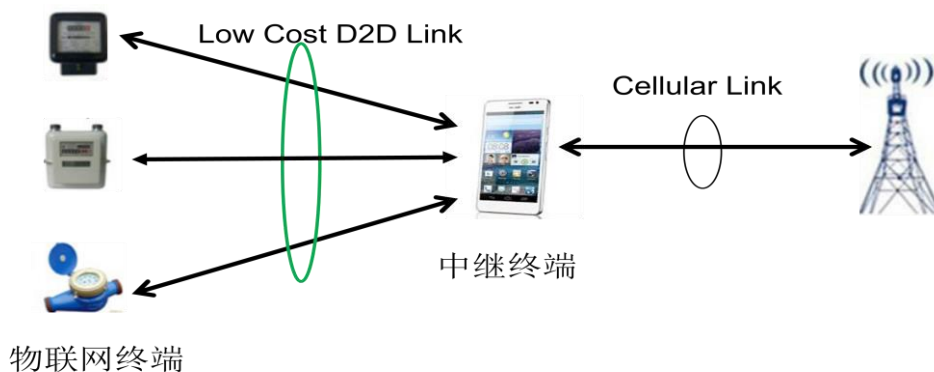


图2.4-1：分级M2M架构

其中，物联网终端与中继终端之间的直通链路可以采用如下几种实现方式：

方案1：物联网终端采用low cost MTC，中继终端与物联网终端之间的链路为low cost MTC到基站之间的链路。这种方案的优点是标准化的工作小，缺点是中继终端由于集成了基站的功能，相当于集成了终端和基站二者功能的中继站，复杂度太高，不适合物联网低成本的需求。

---

方案2：物联网终端和中继终端通过现有的Rel-12的D2D链路建立通信。这种方案的优点是标准化的工作小，缺点是物联网终端需要是具有Rel-12 D2D能力的终端，这种终端，相对于普通的UE，额外增加了D2D的功能，不适合物联网低成本的需求。

方案3：为低成本物联网设计低成本的low cost D2D链路，使得物联网终端和中继终端的成本都较低，以适应物联网低成本的需求。

Low cost D2D设计的核心是物联网终端和中继终端的低成本设计，包括低成本的物联网终端的设计，和中继终端的低成本设计两部分。

### 2.4.1 Low Cost D2D 设计方案

LTE Rel-12 Low cost MTC相对于LTE CAT-1 UE，采取的降成本方式有：

- 单接收链
- 最大峰值速率为1Mbps
- H-FDD
- 通过采用这三种方式，可以使得硬件成本在CAT-1 UE的50%左右。
- Low cost D2D在LTE Rel-12 Low cost MTC的基础上，进一步采用如下技术降低物联网终端成本：
  - 采用较窄的射频和基带带宽，最高带宽为1.4M
  - 降低传输功率
  - 减少所支持的传输模式，不支持任何MIMO
  - 降低同时支持的HARQ进程数
  - 降低调制阶数，放松EVM要求
  - 采用低复杂度编译码
  - 去掉PDCCH盲检测

- 降低所支持的上行接入Preamble格式
- 不支持移动性

为了降低中继终端的成本，Low cost D2D进一步采用如下技术：

- 中继终端的蜂窝链路和D2D链路不同时工作，D2D链路重用蜂窝链路的收发机
- D2D之间的通信尽量复用蜂窝链路下行模式，D2D链路的导频和数据的资源映射模式与下行蜂窝传输模式1资源映射模式相同
- 仅支持采用Format 4的上行接入
- 有限的传输距离，D2D最大传输距离为200m
- 中继终端的最高传输功率为23dBm
- 简单的移动性管理
- 有限的链接管理，最多支持15个物理网终端的同时接入

#### 2.4.2 评估与结论

Low Cost D2D基于LTE Rel-12实施进一步的成本降低，面向未来5G物联网，下表比照Rel-12 Low Cost MTC, Rel-12 D2D,Zigbee，WiFi和GSM，给出各种方案的定性的性能指标

表2.4.3-1：性能指标评估表

	LC D2D		Rel-12 LC-MTC	Rel-12 D2D	Zigbee	WiFi	GSM
成本	低		中	高	低	中	中
功耗	低		中	高	低	低	中
峰值传输 速率	中		中	高	低	高	中
传输时延	高		低	高	中	中	低

---

通信距离	中距		长距	中距	短距	中距	长距
频谱效率	中		高	高	低	高	高
安全性	高		高	高	低	中	高

---