# 基于V2I的资源分配算法

对于V2I场景，我们总共提出了3种方案：

* 轮询调度算法：该算法属于集中式资源分配算法，仅作为对比方案。
* 基于分簇的时分算法：该算法首先根据RSU覆盖范围进行分簇，每个RSU下的不同分簇之间进行时分复用。
* 基于分簇的非时分算法：该算法首先根据RSU覆盖范围进行分簇，不同分簇不进行时分复用，也就是频域复用的最小单元就是簇。

## 分簇

为了实现以RSU为中心的资源分配方案，以曼哈顿街区模型为例，我们将RSU按一定规则撒在街区的指定位置。一般地，我们将RSU布置在十字路口中央，或者道路的中央。如图 1-1所示。



图 1-1 曼哈顿街区RSU撒点以及分簇示意图

接着我们依据地理位置、道路方向，将一个RSU覆盖范围内的区域进行更小粒度的划分，划分后的单元称为簇。对于位于十字路口中央的RSU而言，将覆盖范围分成8个簇；对于位于道路中央的RSU而言，将覆盖范围分成4个簇。

对于高速公路场景，RSU一般等间距地分布在道路中央，详见图 1-2。RSU以100m为间距均匀分布，同一个RSU覆盖范围内按行驶方向不同还可以划分为两个簇。



图 1-2 高速公路RSU撒点以及分簇示意图

## 基于分簇的轮询调度算法

轮询调度算法（Clustering Based Round Robin, C-RR），轮询调度算法本质上属于集中式资源管理方案，此时，RSU不仅仅是一个静态基础设施节点，同时它还具有类似于基站的接入、调度等功能，时频资源的分配完全由RSU实现。

根据36.885协议规定，车联网占用的频段带宽大约在50个RB，我们将整个频域资源划分成若干个，每个包含一个或者多个RB，如图 1-3所示。该轮询调度算法在不同的并行进行轮询调度，最大程度提高系统的吞吐率。

轮询调度算法支持不同的消息优先级，在LTE-V2X仿真平台的实现过程中，可以维护一个优先链表来实现。我们以两个优先级为例进行说明，假设现在消息的优先等级仅有紧急与非紧急两种，紧急消息与非紧急消息的插入示意图详见图 1-4。Head与Point1之间的是紧急消息，Point1与Point2之间是非紧急消息，紧急消息会插入到Point1位置之后，而非紧急消息则插入到Point2之后，在轮询过程中，首先会在Head与Point1之间轮询，直至该部分紧急消息全部传输完毕，然后才会轮询Point1与Point2之间是非紧急消息，这样就保证了紧急事件的高优先级。



图 1-3 轮询调度算法频域划分



图 1-4 优先级链表插入示意图

## 基于分簇的时分算法

基于分簇的时分算法（Clustering Based Time Division Multiplexing, C-TDM）是一种基于时分、频分的分布式资源管理方案。按1.1小节所述的RSU撒点策略以及分簇策略进行划分后，我们将RSU的一个时域调度单元，划分为多个时段，示意图详见图 1-5，每个簇内的车辆只能在该簇所分配的时段内才能进行数据包的发送，以位于道路中央的RSU为例，该RSU的时域调度单元被分为了4个时段，不同分簇时段的长度非固定，而是根据该簇内车辆的数目进行动态调整，车辆数目越多，分配的时段就越长。另外，为了保证紧急事件的高时效性，与高优先级，我们单独划分出一个频段用于传输紧急事件，而该频段在时域上不进行划分，即只要紧急事件触发，在任何时段都可以进行接入，保证了紧急性事件具有较低的时延特性。



图 1-5 C-TDM算法的时域资源划分

为了实现上述分簇的设计思路，车辆节点必须要能够接入到某一个RSU，并根据所在的区域范围决定当前车辆归属于哪一个分簇。具体的接入方案描述如下：

* 每个车辆节点将自己的车辆描述信息、车辆位置信息（通过GPS定位装置获取）、反馈频段通过某个特定频段进行广播。
* 每个RSU覆盖的区域明确规划，并根据RSU的种类（道路中央或十字路口）进行簇的划分。
* RSU收集车辆广播的位置信息，并确定是否位于当前RSU的范围，若不属于当前RSU覆盖范围，则不做任何处理；若属于当前RSU覆盖范围，则计算该车辆所属簇号，将RSU信息以及分簇信息通过接收信息中指定的反馈频段发送给该车辆。
* 如果车辆在指定时延内未收到RSU的反馈信息，则认为当前位置信息的广播发生了冲突，根据随机算法调整广播时刻。

为了支持不同的业务类型，我设计了若干个不同大小的，用于传输不同类型的消息。我们将频域大致划分为三个部分，详见图 1-6。其中，灰色部分为紧急性业务的可占用频段，最小可占用的时频资源单位是，一个对应了3个连续的RB，并且在时域上没有依据簇来进行划分，即任何时候，只要紧急事件触发，就可以在灰色部分频段进行接入；绿色部分为周期性业务的可用频段，最小可占用的时频资源单位是，一个对应了5个连续的RB；黄色部分为数据业务的可用频段，最小可占用的时频资源单位是，一个对应了10个连续的RB。对于和在时域上呈现了不同的色度，同一种色度表示同一个簇的可调用时间段，簇内的车辆只能在该簇对应的可调用时段中才能竞争对应的或(或依据事件类型而定)。



图 1-6 C-TDM算法的频域资源划分

在我们的LTE-V2X车联网仿真平台中，我们对已经成功接入(接入的TTI时刻无冲突)的车辆采用了预留机制：当一个车辆成功接入后，将在该车辆传输完毕之前，或者发生位置更新导致所在RSU或者所在簇发生了变动之前，持续发送参考信号，来标明该在该簇对应的时段已被占用，避免同一簇内其他车辆尝试在该上进行接入，造成不必要的冲突。

对于每个，预留一小部分频段用于传输参考信号，每一个簇单独占据一个频段，用于表示该簇所在的可调度时段内该是否被占用，详见图 1-7。从上到下依次为用于发送簇1-簇4的参考信号频段，位于簇1的车辆B，在TTI=26时尝试进行接入，接入前车辆B在簇1所对应的参考信号频段进行参考信号检测，发现该时段内该尚未被占用，(假设车辆B在可用的选择中选取了当前，并且接入后无冲突)于是车辆B成功接入该，并且在簇1对应的可调用时段内，车辆B可以在该内进行数据包的发送。随后在TTI=51时刻，同样位于簇1的车辆D要在该时段内选择相应的来进行数据包的发送，在发送前车辆D在簇1所对应的参考信号频段进行参考信号检测，发现该频段能检测到参考信号功率，于是车辆D将该排除在可用之外，不会在该上尝试接入，于是避免了冲突。



图 1-7 资源预留机制

此外，我们还采用了冲突避让机制，最大程度地减少车辆节点由于竞争资源而产生的冲突。控制过程包含四个处理内容：侦听、发送、检测、冲突处理：

* 侦听：UE在发送数据前先侦听一下是否有数据正在传送（线路是否忙）。若“忙”则进入后述的“退避”处理程序，进而进一步反复进行侦听工作。若“闲”，则进行数据发送；
* 发送：当确定要发送数据后，进行数据的发送；
* 数据发送后，也可能发生数据传输冲突。因此，要对数据边发送，边接收，以判断是否冲突了；
* 当确认发生冲突后，进入冲突处理程序。有两种冲突情况：
* 若在侦听中发现线路忙，则等待一个延时后再次侦听，若仍然忙，则继续延迟等待，一直到可以发送为止。每次延时的时间不一致，由退避算法确定延时值；
* 若发送过程中发现数据冲突，先发送阻塞信息，强化冲突，再进行侦听工作，以待下次重新发送；

**退避机制**：当出现线路冲突时，如果冲突的各站点都采用同样的退避间隔时间，则很容易产生二次、三次的冲突。因此，要求各个站点的退避间隔时间具有差异性。这要求通过退避算法来实现。

我们采用截断的二进制指数退避算法（退避算法之一）：

当一个站点发现线路忙时，要等待一个延时时间T，然后再进行侦听工作。延时时间T通过以下算法决定：

 （1-1）

其中，表示最小时隙，表示此刻已经侦听的次数，表示最大时隙。该表达式的含义是：在范围内随机选择整数，作为本次侦听前等待的时隙数目。当超过时，作特殊处理。详细流程见图 1-8。



图 1-8 冲突避让流程

C-TDM算法的详细流程详见图 1-9。其中，待接入消息链表存放的是那些已经触发，但尚未成功接入的消息。消息成功接入后才能进行传输。



图 1-9 C-TDM算法的流程

## 基于分簇的非时分算法

C-TDM算法可以很好地保证消息传输的可靠性，很大程度上避免了冲突。但是由于簇间时分的引入，会导致消息的传输时延变得非常大，同时由于资源预留机制的引入，也会导致频域资源利用率下降，还需要耗费额外的车载功率。

基于分簇的非时分算法（Clustering Based Non Time Division Multiplexing, C-NTDM）不再进行时域资源的分割，同一RSU覆盖范围内的车辆可以在任意时刻进行接入。RSU仍然按照1.1小节所述的方式进行撒点，以及簇的划分。

此外，在频域资源的划分上，C-NTDM算法与C-TDM算法也有所不同，C-NTDM算法不再根据消息类型划分出不同的，而采用了单一大小的。如此一来，任意优先级的消息都可以选择任意进行传输。由于C-NTDM算法也采用类似于C-TDM算法的冲突避让机制，这里不再赘述，因此我们可以通过给不同优先级的消息设置不同的退避窗口来体现优先级，以达到尽可能地让优先级较高的消息快速抢占资源的效果。

在C-NTDM算法的实现策略中，时频复用单元从RSU缩小到了一个簇，我们只需要保证在一个簇内的车辆有序地、无冲突地占用时频资源。但与此同时，引入了簇间干扰，而簇间干扰远大于RSU间干扰，因此会导致丢包率的上升。

对于一个簇内的车辆，我们仍然需要资源预留机制，来保证消息成功接入后无干扰地进行传输，如图 1-10所示。对于每个，预留一小部分频段用于传输参考信号，为了避免簇间参考信号相互干扰，仍然为每一个簇单独占据一小个频段，用于表示该簇所在的可调度时段内该是否被占用。在该策略中，车辆可以在任意时刻进行接入，接入前需要检测所选的子频段上检测是否有参考信号。位于簇2的车辆A在接入该时，检测到该在簇2内尚未被占用，因此车辆A成功接入。位于簇1的车辆B在接入该时，检测到该在簇1内尚未被占用，因此车辆B成功接入。位于簇1的车辆D在接入该时，发现该在簇1内已被占用，因此接入失败。



图 1-10 资源预留机制

C-NTDM算法的流程详见图 1-11。



图 1-11 C-NTDM算法的流程

# 基于V2V的资源分配算法

本小节将讨论几种基于V2V的资源分配算法。

## 随机选择算法

首先，我们将整个频域资源划分成多个，一个包含一个或多个RB。随机选择算法非常简单，就是在可选的集合中，挑选一个用于广播本次消息。在车辆密度较小的场景中，随机选择算法可以取得非常好的效果，并且算法实现复杂度极低，效率非常高，但是在车辆密度较高的场景中，该算法的效果就会急剧下降，因为在同一时间段内，可能会有许多地理位置相近的车辆同时占用同一个进行传输，会产生严重的干扰。流程图详见图 2-1。



图 2-1 随机选择算法流程图

## 基于载波侦听的随机选择算法

在随机选择算法中，一个车辆节点独立地随机选择一个可用，而完全没有考虑到该是否已被其他邻近车辆占用。因此，我们可以引入载波侦听机制。

在载波侦听机制中，车辆节点在进行选取的时候，首选会侦听所有上的载波功率强度，功率强度低于某个临界值时，即可认为该未被邻近车辆占用，因此可以生成一个空闲链表。然后我们在这个空闲链表中挑选一个载波功率最小的，用于本次消息的传输。这样一来，可以大大缓解V2V消息相互干扰的情况。

上面这种选择策略在某种情况下可能仍然会出现较多的干扰，原因如下：假设车辆A和车辆B在T1时刻要广播V2V消息给周边车辆，又因为车辆A和车辆B地理位置相近，因此信道状况也可能相近，于是它们同时选择了某一个。这样一来，仍然产生了冲突。我们可以进行如下优化：

假设车辆监听到未被占用，其载波平均功率分别为：。现在给分配一个概率，满足：

 （2-1）

然后计算的累计概率，将[0-1)区间划分成多个长度不等的片段，生成一个[0,1)范围的随机数，这个随机数落在哪个片段，本次选择的结果就为对应的。算法流程图详见图 2-2。



图 2-2 基于载波侦听的随机选择算法流程图

## 基于地理位置的时分算法

车辆之间的同频干扰随着距离增大而降低，示意图详见图 2-3(a)。在此示意图中，A、B、C、D四辆车占用同一个，以车辆A为中心进行分析，将干扰区域划分为三段，每段的边界分别是、、。表示与车辆A的距离，表示**冲突区域**，表示**强干扰区域**，表示**弱干扰区域**，表示信号可达的最远距离。车辆B位于冲突区域，在进行载波侦听功率检测时，车辆A在该上的功率大于临界值，于是根据2.2小节所述的基于载波侦听的随机选择算法，车辆B将不会选用该来传输消息，从而有效地避免冲突；车辆C位于强干扰区域，在进行载波侦听功率检测时，车辆A在该上的功率小于临界值，于是根据2.2小节所述的基于载波侦听的随机选择算法，车辆C有可能选用该来传输消息，详见示意图图 2-3(b)，此时，车辆A、C复用同一个，这将会导致位于车辆A、C之间的区域（即示意图中标注的区域）将产生较大的干扰，该区域内的车辆可能无法同时收到A、C发送的消息。车辆D位于弱干扰区域，车辆A、D复用同一个所造成的干扰微乎其微，因此可以忽略不计。



图 2-3 同频干扰示意图

经过上述分析，我们发现，如果我们可以有效地规避车辆A、C复用同一个，在一定程度上可以降低丢包率，即减少那些位于图 2-3(b)中的区域车辆的丢包率。基于地理位置进行时分复用不失为一种简单有效的方法，我们将高速公路以及曼哈顿街区按地理位置进行划分，详见图 2-4。

其中，曼哈顿街区有两种划分的方式，分别划分为2类区域（图a）或4类区域（图c），相同类型的区域占用相同的时段，不同类型的区域之间进行时分复用

1. 方式1：将街区道路按方向分为两类，分别是南北方向和东西方向。南北方向的车道都属于第一类区域；东西方向的车道都属于第二类区域。
2. 方式2：在上一中划分的基础上，将每一条街道再拆分为两个区域，因此总共有四个类型的区域。

高速公路划分为两类区域，即图(c)中所示的1、2，同类区域占用相同的时段，不同类型的区域之间进行时分复用。

另一个问题是，车辆如何知道自己所处的位置呢？车辆可以通过特定频段向RSU或基站发起询问，基站根据车辆提供的位置信息将分区信息发送给车辆即可。具体的做法类似于1.3小节中提到的接入方案，这里不再赘述。

基于地理位置的时分算法与其他资源分配算法是可以结合使用的，这种基于地理位置的时分算法可以减少某一区域内的干扰，从而减小丢包率。但是由于进行了时分复用，这会导致消息的传输时延变为原来的两倍。因此适用于车辆密度较大，且对时效性要求不高的场景之中。



图 2-4 区域分割示意图



图 2- 5 基于地理位置的时分算法流程图

# 硕士期间发表论文

1. Chenfeng. He, Huachan. Qin, Zhiqiang. He and Kai. Niu, "Adaptive GoP dividing video coding for wireless broadcast based on power allocation optimization," 2016 8th International Conference on Wireless Communications & Signal Processing (WCSP), Yangzhou, 2016, pp. 1-5.