



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102625237 B

(45) 授权公告日 2014. 10. 15

(21) 申请号 201210062162. 9

段-19 段、60 段-70 段.

(22) 申请日 2012. 03. 09

CN 101071526 A, 2007. 11. 14, 全文.

(73) 专利权人 上海交通大学

审查员 刘婧

地址 200240 上海市闵行区东川路 800 号

(72) 发明人 邓磊 程鹏 俞晖 李御益 应凯

(74) 专利代理机构 上海汉声知识产权代理有限公司 31236

代理人 郭国中

(51) Int. Cl.

H04W 4/02 (2009. 01)

H04W 4/06 (2009. 01)

H04B 7/14 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101673471 A, 2010. 03. 17, 说明书第 1 页  
第 2 段-第 4 也第 3 段, 图 1-2.

CN 102256333 A, 2011. 11. 23, 说明书第 8  
段-11 段、14 段-15 段, 图 1.

CN 101835238 A, 2010. 09. 15, 说明书第 13

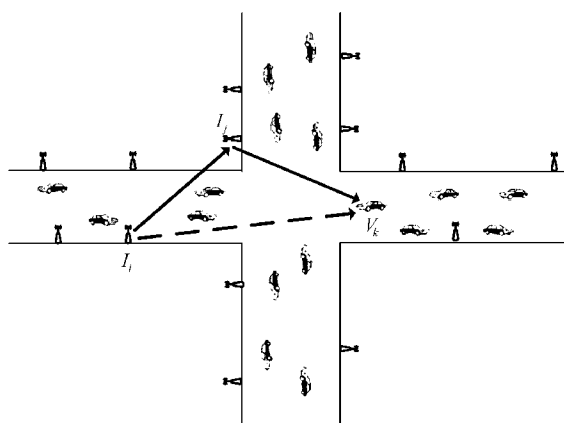
权利要求书3页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

路边设备与车辆通信中的最佳中继选择方法

(57) 摘要

本发明提供一种路边设备与车辆通信中的最佳中继选择方法, 基于车载网中的车辆更新的位置和速度信息来预测未来轨迹, 根据预测的未来轨迹选择一个其他的路边设备来作为最佳中继节点, 源路边设备首先将数据发送给中继节点, 然后由中继节点将数据发送到目的车辆。在中继节点的帮助下, 源路边设备可以和距离更远的目的车辆进行通信, 因此本发明有效提高了网络的传输容量, 从而改善网络性能。



1. 一种路边设备与车辆通信中的最佳中继选择方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一:每辆车辆周期性地更新位置和速度信息并广播通知所有路边设备,在每个更新间隔中,能够完成整数次 I2V 通信;

步骤二:源路边设备根据收集的关于目的车辆的位置和速度信息,预测目的车辆未来的轨迹,路边设备在每次 I2V 通信开始时,判断目的车辆的最有可能出现位置;

步骤三:源路边设备在每次 I2V 通信开始时,根据预测的轨迹信息,以及收集到的其他 I-R-V 通信链路信息,判断所有空闲中继路边设备是否满足最小信干噪比条件;如果满足,则是有效中继节点,再计算这条 I-R-V 通信链路的传输容量;

步骤四:选择能最大化链路传输容量的中继作为最佳中继节点,如果这一最大链路传输容量大于源路边设备与目的车辆直接通信时的链路传输容量或者源路边设备不能直接将数据成功发送到目的车辆,则通过此最佳中继进行数据传输;否则,若源路边设备和目的车辆能够直接通信,且直接通信时的链路传输容量比使用最佳中继时的链路传输容量大,则源路边设备与目的车辆直接通信,而不利用中继节点;

步骤五:根据所述步骤四,源路边设备或者选择最佳中继进行数据传输,即首先将数据传输到中继,然后中继将数据传输到目的车辆;或者选择直接与目的车辆通信;

具体地,每隔时间  $T_{\text{update}}$ ,目的车辆  $V_k$  上报其位置和速度信息;其中在  $nT_{\text{update}}$  时刻上报的位置信息是水平方向位置  $X_{V_k}^x(nT_{\text{update}})$  和垂直方向位置  $X_{V_k}^y(nT_{\text{update}})$ ;在  $nT_{\text{update}}$  时刻上报的速度信息是水平方向速度  $M(nT_{\text{update}})$  和垂直方向速度  $N(nT_{\text{update}})$ ;

在  $t$  时刻,按照车辆  $V_k$  上报的速度信息,确定随机变量  $U(t-nT_{\text{update}})$  的概率密度函数  $f_U(x)$ ;所述的随机变量  $U(t-nT_{\text{update}})$  是指从  $nT_{\text{update}}$  时刻开始到  $t$  时刻为止车辆  $V_k$  的水平方向运动距离,因每个时隙是单位时间,故  $U(t-nT_{\text{update}})$  是从  $nT_{\text{update}}$  时刻开始到  $t$  时刻为止每个时隙的水平方向速度之和,即:  $U(t-nT_{\text{update}}) = M(nT_{\text{update}}) + M(nT_{\text{update}}+1) + \dots + M(t-1)$ , 其中  $t = \frac{T_1(n,q) + T_2(n,q)}{2}$ ;所述的  $T_1(n, q)$ 、 $T_2(n, q)$  分别表示第  $q$  个轮次中的中继与目的车辆通信的起始和结束时刻,  $T_1(n, q) = nT_{\text{update}} + (q-1)T_{\text{I2V}} + \alpha$ ,  $T_2(n, q) = nT_{\text{update}} + qT_{\text{I2V}}$ ;所述的  $M(r)$  表示车辆  $V_k$  在第  $r$  个时隙的水平方向速度;其中,  $T_{\text{I2V}}$  是指源路边设备每隔  $T_{\text{I2V}}$  时间重新做一次决定,确定最佳中继,  $T_{\text{I2V}} = \alpha + \beta$ ,  $\alpha$  表示源路边设备与中继的通信时间,  $\beta$  表示中继与目的车辆的通信时间;

确定目的车辆  $V_k$  最有可能出现的位置  $X_{V_k} = (\tilde{x}, \tilde{y})$ , 其中  $\tilde{x}$ ,  $\tilde{y}$  分别表示了水平位置的概率密度函数  $f_{V_k}^x(x)$  的最大值和垂直位置的概率密度函数  $f_{V_k}^y(y)$  的最大值,即:  $\tilde{x} = \arg \max f_{V_k}^x(x)$ ,  $\tilde{y} = \arg \max f_{V_k}^y(y)$ ;

所述的  $f_{V_k}^x(x)$  是车辆  $V_k$  在  $t$  时刻水平方向的位置  $X_{V_k}^x(t)$  的概率密度函数;随机变量  $X_{V_k}^x(t)$  是车辆  $V_k$  在  $nT_{\text{update}}$  时刻的水平位置  $X_{V_k}^x(nT_{\text{update}})$  与从  $nT_{\text{update}}$  到  $t$  时刻的运动距离之和,即:  $X_{V_k}^x(t) = X_{V_k}^x(nT_{\text{update}}) + U(t - nT_{\text{update}})$ , 其中  $t = \frac{T_1(n,q) + T_2(n,q)}{2}$ ;

所述的  $f_{V_k^y}(y)$  是指第  $q$  个轮次车辆  $V_k$  在垂直方向的位置的概率密度函数, 根据  $X_{V_k^y}(nT_{\text{update}})$  和  $N(nT_{\text{update}})$  并利用求  $f_{V_k^x}(x)$  的相同方法得到;

具体地, 在  $t$  时刻, 按照车辆  $V_k$  上报的速度信息, 确定随机变量  $V(t-nT_{\text{update}})$  的概率密度函数  $f_v(x)$ ; 所述的随机变量  $V(t-nT_{\text{update}})$  是指从  $nT_{\text{update}}$  时刻开始到  $t$  时刻为止车辆  $V_k$  的垂直方向运动距离, 因每个时隙是单位时间, 故  $V(t-nT_{\text{update}})$  是从  $nT_{\text{update}}$  时刻开始到  $t$  时刻为止每个时隙的垂直方向速度之和, 即:  $V(t-nT_{\text{update}}) = N(nT_{\text{update}}) + N(nT_{\text{update}}+1) + \dots + N(t-1)$ , 其中  $t = \frac{T_1(n,q)+T_2(n,q)}{2}$ ; 所述的  $T_1(n, q)$ 、 $T_2(n, q)$  分别表示第  $q$  个轮次中的

中继与目的车辆通信的起始和结束时刻,  $T_1(n, q) = nT_{\text{update}} + (q-1)T_{\text{I2V}} + \alpha$ ,  $T_2(n, q) = nT_{\text{update}} + qT_{\text{I2V}}$ ; 所述的  $N(r)$  表示车辆  $V_k$  在第  $r$  个时隙的垂直方向速度; 其中,  $T_{\text{I2V}}$  是指源路边设备每隔  $T_{\text{I2V}}$  时间重新做一次决定, 确定最佳中继,  $T_{\text{I2V}} = \alpha + \beta$ ,  $\alpha$  表示源路边设备与中继的通信时间,  $\beta$  表示中继与目的车辆的通信时间;

$f_{V_k^y}(y)$  是车辆  $V_k$  在  $t$  时刻垂直方向的位置  $X_{V_k^y}(t)$  的概率密度函数; 随机变量  $X_{V_k^y}(t)$  是车辆  $V_k$  在  $nT_{\text{update}}$  时刻的垂直位置  $X_{V_k^y}(nT_{\text{update}})$  与从  $nT_{\text{update}}$  到  $t$  时刻的运动距离之和, 即:  $X_{V_k^y}(t) = X_{V_k^y}(nT_{\text{update}}) + V(t - nT_{\text{update}})$ , 其中  $t = \frac{T_1(n,q)+T_2(n,q)}{2}$ 。

2. 根据权利要求 1 所述的路边设备与车辆通信中的最佳中继选择方法, 其特征在于, 所述的 I2V 通信是指路边设备作为源节点将数据发送到目的车辆, 其中可以通过利用其它路边设备作为中继转发数据。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的路边设备与车辆通信中的最佳中继选择方法, 其特征在于, 所述的链路传输容量是指 1bit 数据从源路边设备发送到中继的比特距离以及 1bit 数据从中继发送到目的车辆的比特距离之和或者 1bit 数据从源路边设备直接发送到目的车辆的比特距离;

具体地, 源路边设备与目的车辆通过中继传输的 I-R-V 链路传输容量为:

$$C_{\text{IRV}} = R_1 d_1 + R_2 d_2,$$

其中  $C_{\text{IRV}}$  是 I-R-V 链路的链路传输容量,  $R_1$  是源路边设备到中继的数据传输速率,  $d_1$  是源路边设备到中继的距离,  $R_2$  是中继到目的车辆的数据传输速率,  $d_2$  是中继到目的车辆的距离;

具体地, 源路边设备与目的车辆直接通信的 I2V 链路传输容量为:

$$C_{\text{I2V}} = R_3 d_3,$$

其中  $C_{\text{I2V}}$  是源路边设备与目的车辆直接通信时的链路传输容量,  $R_3$  是源路边设备到目的车辆的数据传输速率,  $d_3$  是源路边设备到目的车辆的距离。

4. 根据权利要求 1 所述的路边设备与车辆通信中的最佳中继选择方法, 其特征在于, 所述的其他 I-R-V 通信链路信息主要用于确定还有哪些路边设备是空闲节点, 还用于计算出中继接收端和目的车辆接收端的信干噪比;

具体地, 第  $q$  个轮次, 源路边设备  $I_1$  计算好一条 I-R-V 通信链路的传输容量后, 以同样

的方式计算所有可行的 I-R-V 链路,并从中选出一条满足信干噪比约束条件并最大化传输容量的 I-R-V 链路,其中的中继即为最佳中继,即:

$$I_{j^*} = \arg \max_j C(I_i, I_j, V_k)$$

如果  $C(I_i, I_{j^*}, V_k) > C(I_i, V_k)$ , 或者  $\Gamma(I_j, V_k) < \gamma_2$ , 则选择此最佳中继进行数据传输,即源路边设备  $I_i$  先将数据传送给最佳中继  $I_{j^*}$ , 发送时长  $\alpha$ , 中继  $I_{j^*}$  再将数据发送给目的车辆  $V_k$ , 发送时长  $\beta$ ; 否则, 若  $C(I_i, I_{j^*}, V_k) \leq C(I_i, V_k)$ , 且  $\Gamma(I_j, V_k) \geq \gamma_2$ , 则源路边设备  $I_i$  直接将数据传送给目的车辆  $V_k$ , 发送时长为  $\alpha + \beta$ ; 其中,  $I_j$  为另一个路边设备;

所述的  $C(I_i, V_k)$  是指源路边设备  $I_i$  直接与目的车辆  $V_k$  通信时的链路传输容量; 所述的  $\Gamma(I_i, V_k)$  是指源路边设备  $I_i$  与目的车辆  $V_k$  直接通信时, 目的车辆  $V_k$  的接收机端的信干噪比; 所述的  $\gamma_2$  是指路边设备与车辆之间通信时的最小信干噪比约束条件, 只有当信干噪比不小于  $\gamma_2$  时才能成功传输数据。

5. 根据权利要求 1 所述的路边设备与车辆通信中的最佳中继选择方法, 其特征在于, 所述的源路边设备不能直接将数据成功发送到目的车辆是指源路边设备与目的车辆直接通信时, 目的车辆的接收机端的信干噪比不满足最小信干噪比条件, 即比最小信干噪比小。

6. 根据权利要求 1 所述的路边设备与车辆通信中的最佳中继选择方法, 其特征在于, 所述的最小信干噪比条件是使得数据能够成功传输时的最小信干噪比。

## 路边设备与车辆通信中的最佳中继选择方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及无线通信领域,具体是一种车载网络中路边设备与车辆通信时的最佳中继选择方法。

### 背景技术

[0002] 近年来,车载网络 (vehicle network) 获得了越来越广泛的关注,特别是智能交通系统 (intelligent transport systems, ITS)。在智能交通系统中,诸如交通安全、拥塞控制、路况监控等问题可以依靠无线通信技术得到有效解决。现有的研究一般是基于有路边设备 (infrastructure) 的情况,路边设备和车辆之间的通信 (Infrastructure-to-Vehicle, I2V) 一般使用专用短程通信技术 (Dedicated Short Range Communications, DSRC)。在 IEEE802.11p 协议中,路边设备装有 Roadside Units (RSUs),而车辆上装有 On-board Unit (OBU),RSU 和 OBU 可以通过 DSRC 进行通信,使用 5.9GHz 工作频段。

[0003] 在 I2V 通信中,路边设备可以给车辆提供交通状况、天气查询、文件传输等信息。但是一般而言,如果车辆距离路边设备比较远时,路边设备将不能将数据信息成功发送到车辆。一方面是由于 DSRC 通信距离有限,通常小于 1km;另一方面是受其他路边设备同时通信的干扰影响。为了实现有效传输,可以采用中继技术。一个路边设备可以先将数据传送给中继 (另一个路边设备),然后由中继传送给目的车辆。中继技术是一种路边设备之间的合作通信方式,通过中继技术可以实现路边设备与距离更远的车辆之间通信,同时改善网络性能。

[0004] 经过对现有技术的检索发现,文献“Energy-Efficient Cooperative Techniques for Infrastructure-to-Vehicle Communications” (IEEE Trans. ITS, vol. 12, no. 3, pp. 659-668, Sept. 2011) 介绍了几种路边设备间合作通信的方式,说明了 MIMO 技术和中继技术相比传统的多跳通信方式 (Multi-hop technique) 均能有效减少能耗和提高网络性能。其中中继技术相比 MIMO 技术更容易实现,而且一般只考虑单个中继的情况。源节点和中继节点均是路边设备,所有通信方式均是无线形式。源节点与中继节点是路边设备之间的通信 (Infrastructure-to-Infrastructure, I2I),而源节点与车辆、中继节点与车辆是路边设备与车辆间的通信 (Infrastructure-to-Vehicle, I2V)。虽然文献中说明了可以利用中继技术来提高能量效率这一网络性能,但是文献中没有提供具体如何选择中继的方法,也没有提供实施中继技术的详细过程。

### 发明内容

[0005] 本发明针对现有技术存在的上述不足,提供一种基于轨迹预测和传输容量最大化的中继选择方案。本发明的场景是在一个区域大小固定的车载网络中,若干车辆在道路上行驶,同时有若干静止的路边设备安装在道路两边。路边设备可以和车辆进行通信,并且希望将尽可能多的数据信息发送给所在网络中的车辆,即提高整个网络的容量。每辆车上都

装有一个 GPS 导航系统,可以知道自己的位置和速度信息。同时,每辆车每隔一定时间广播其位置和速度信息。路边设备根据车辆上报的信息预测其未来的轨迹,然后以最大化链路传输容量为目标选择最佳的中继。利用本发明的方案,可以在一定信令开销的基础上,有效提高网络容量。

[0006] 根据本发明的一个方面,提供一种路边设备与车辆通信中的最佳中继选择方法,包括以下步骤:

[0007] 步骤一:每辆车周期性地更新位置和速度信息并广播通知所有路边设备,在每个更新间隔中,可以完成整数次 I2V 通信;

[0008] 步骤二:源路边设备根据收集的关于目的车辆的位置和速度信息,预测目的车辆未来的轨迹,路边设备在每次 I2V 通信开始时,判断目的车辆最有可能出现的位置;

[0009] 步骤三:源路边设备在每次 I2V 通信开始时,根据预测的轨迹信息,即目的车辆的最有可能出现位置,以及收集到的其他 I-R-V 通信链路信息,判断所有空闲中继路边设备是否满足最小信干噪比条件;如果满足,则是有效中继节点,再计算这条 I-R-V 通信链路的传输容量;

[0010] 步骤四:选择能最大化链路传输容量的中继作为最佳中继节点,如果这一最大链路传输容量大于源路边设备与目的车辆直接通信时的链路传输容量或者源路边设备不能直接将数据成功发送到目的车辆,则确定这个中继即是此次通信的最佳中继,通过此中继进行数据传输;否则,若源路边设备和目的车辆可以直接通信,且直接通信时的链路传输容量比使用最佳中继时的链路传输容量大,则源路边设备与目的车辆直接通信,而不利用中继节点;

[0011] 步骤五:根据所述步骤四,源路边设备或者选择最佳中继进行数据传输,即首先将数据传输到中继,然后中继将数据传输到目的车辆;或者选择直接与目的车辆通信。

[0012] 具体地,本发明的一个优选例是通过以下技术方案实现的:

[0013] 步骤一:时间时隙化,每个时隙为单位时间,设置更新时间  $T_{\text{update}}$  和每个轮次通信时间  $T_{\text{I2V}}$  的关系,其中  $T_{\text{update}}$  是  $T_{\text{I2V}}$  的正整数  $p$  倍,即满足:  $\frac{T_{\text{update}}}{T_{\text{I2V}}} = p$ , 式中  $p$  为正整数。

在每一次更新间隔  $[nT_{\text{update}}, (n+1)T_{\text{update}})$  中,可以完成  $p$  个轮次通信,其时间关系图如图 2 所示。

[0014] 所述的车辆更新时间  $T_{\text{update}}$  是指车辆每隔  $T_{\text{update}}$  广播一次位置和速度信息,取经验值,实际情况根据系统需求而改变。

[0015] 所述的完成一次 I2V 通信的时间  $T_{\text{I2V}}$  是指源路边设备每隔  $T_{\text{I2V}}$  时间重新做一次决定,确定最佳中继。一般而言,  $T_{\text{I2V}} = \alpha + \beta$ 。若果源路边设备与目的车辆通过中继通信,则  $\alpha$  表示源路边设备与中继的通信时间,  $\beta$  表示中继与目的车辆的通信时间。如果源路边设备与目的车辆直接通信,则  $\alpha + \beta$  全部用于源路边设备与目的车辆通信。

[0016] 所述的源路边设备是指最开始发送数据的路边设备。

[0017] 所述的中继是指将来自源路边设备的数据转发给目的车辆的路边设备。

[0018] 所述的目的车辆是指数据最终到达的车辆。

[0019] 步骤二:源路边设备根据收集的关于目的车辆的位置和速度信息,预测目的车辆未来的轨迹。

[0020] 步骤三：路边设备根据预测的轨迹信息以及收集到的其他 I-R-V 通信链路信息，判断是否满足最小信干噪比条件，如果满足则计算选择不同中继时的链路传输容量，然后选择能最大化链路传输容量的中继，这个中继即是此次通信的最佳中继。

[0021] 所述的 I-R-V 通信链路是指包括源路边设备 (Infrastructure) 和选择的中继 (Relay)，以及目的车辆 (Vehicle) 的通信链路。

[0022] 所述的最小信干噪比条件是指成功传输数据时，接收端的最小信干噪比。当接收端的信干噪比小于最小信干噪比时，所发数据将不能被接收端成功接收。

[0023] 所述的其他 I-R-V 通信链路是指同一时刻可以有多个源路边设备与目的车辆进行通信，因而有多条 I-R-V 通信链路，这些同时存在的 I-R-V 通信链路会相互产生干扰，需要通过合适的方法来控制干扰在一定范围内。如果干扰超过一定范围，即超过最小信干噪比条件，则不能成功传输数据。

[0024] 所述的链路传输容量 (Link Transport Capacity) 是指 1bit 数据从源路边设备发送到中继的比特距离 (bit-meter) 以及 1bit 数据从中继发送到目的车辆的比特距离之和或者 1bit 数据直接从源路边设备发送到目的车辆的比特距离，可以表示为：

[0025]  $C_{IRV} = R_1 d_1 + R_2 d_2$ ，或者

[0026]  $C_{I2V} = R_3 d_3$ ，

[0027] 其中  $C_{IRV}$  是 I-R-V 链路的链路传输容量， $R_1$  是源路边设备到中继的数据传输速率， $d_1$  是源路边设备到中继的距离， $R_2$  是中继到目的车辆的数据传输速率， $d_2$  是中继到目的车辆的距离。

[0028]  $C_{I2V}$  是源路边设备与目的车辆直接通信时的链路传输容量， $R_3$  是源路边设备到目的车辆的数据传输速率， $d_3$  是源路边设备到目的车辆的距离。

[0029] 步骤四：选择好最佳中继后，若使用此最佳中继时的链路传输容量比源路边设备和目的车辆直接通信时的链路传输容量大或者源路边设备不能直接将数据成功发送到目的车辆，则源路边设备首先将数据传输到中继，传输时间为  $\alpha$ ，然后中继将数据传输到目的车辆，传输时间为  $\beta$ 。否则，若源路边设备和目的车辆可以直接通信，且直接通信时的链路传输容量比使用最佳中继时的链路传输容量大，则源路边设备直接与目的车辆进行通信，通信时间为  $\alpha + \beta$ 。

[0030] 与现有技术相比，本发明的方法具有如下优势：利用了车辆的速度和位置信息来预测车辆未来的轨迹，现在越来越多的车辆装有 GPS 系统，可以充分利用 GPS 系统提供的速度和位置信息来协助完成通信任务。同时，提供一种选择最佳中继的方法，选择的准则是最大化链路传输容量。利用这种选择方法，可以有效提高整个网络的传输容量，从而改善网络性能。

#### 附图说明

[0031] 图 1 是本发明实施例的场景图。

[0032] 图 2 是一条 I-R-V 链路示意图。

[0033] 图 3 是车辆更新时间与完成一次 I2V 通信的时间的关系示意图。

[0034] 图 4 是本发明的最佳中继选择流程图。

[0035] 图 5 是实施例效果示意图。

## 具体实施方式

[0036] 下面对本发明的实施例作详细说明,本实施例在以本发明技术方案为前提下进行实施,给出了详细的实施方式和具体的操作过程,但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

[0037] 如图 1 所示,本实施例中考虑一个固定区域大小的车载网络,其中包含若干的行驶车辆以及静止的路边设备。源路边设备将数据传送给车辆,如果距离太远可以通过选择一个其他的路边设备作为中继,先将数据传输给中继节点,再由中继节点将数据传输到目的车辆。如图 1 中的源路边设备  $I_i$  与目的车辆  $V_k$  相距较远,数据传输时车辆  $V_k$  不能成功接收,故可选择另一个路边设备  $I_j$  作为中继。 $I_i$  可以成功传输数据给  $I_j$ ,同样  $I_j$  可以成功传输数据给  $V_k$ 。这样  $I_i$  就可以将数据成功传输到目的车辆  $V_k$ 。

[0038] 在某一通信时刻,可用的中继节点可能有多个,需要一个准则来衡量中继节点的好坏,从而可以确定最佳的中继节点。在本发明的优选例中,选择链路传输容量作为衡量标准,链路传输容量体现了单位时间内,网络中数据量的传输距离。链路传输容量越大,说明网络性能越好。而本发明的方案就是选择最佳中继以使链路传输容量最大。具体步骤如下:

[0039] 步骤一:设置更新时间  $T_{update}$  和每个轮次通信时间  $T_{I2V}$  的关系,其中  $T_{update}$  是  $T_{I2V}$  的正整数  $p$  倍,即满足:  $\frac{T_{update}}{T_{I2V}} = p$ ,式中  $p$  为正整数。在每一次更新间隔  $[nT_{update}, (n+1)T_{update})$  中,可以完成  $p$  个轮次通信,其时间关系图如图 2 所示。

[0040] 所述的轮次是指一次 I2V 通信的过程,每一个轮次的通信时间为  $T_{I2V} = \alpha + \beta$ 。如果源路边设备与目的车辆通过中继通信,则  $\alpha$  表示源路边设备与中继的通信时间, $\beta$  表示中继与目的车辆的通信时间。如果源路边设备与目的车辆直接通信,则  $\alpha + \beta$  全部用于源路边设备与目的车辆通信。

[0041] 步骤二:每隔时间  $T_{update}$ ,目的车辆  $V_k$  上报其位置和速度信息。

[0042] 其中在  $nT_{update}$  时刻上报的位置信息是水平方向位置  $X_{V_k}^x(nT_{update})$  和垂直方向位置  $X_{V_k}^y(nT_{update})$ 。在  $nT_{update}$  时刻上报的速度信息是水平方向速度  $M(nT_{update})$  和垂直方向速度  $N(nT_{update})$ 。

[0043] 步骤三:在  $t$  时刻,按照所述步骤二车辆  $V_k$  上报的速度信息,确定随机变量  $U(t-nT_{update})$  的概率密度函数  $f_U(x)$ 。

[0044] 所述的随机变量  $U(t-nT_{update})$  是指从  $nT_{update}$  时刻开始到  $t$  时刻为止车辆  $V_k$  的水平方向运动距离,因每个时隙是单位时间,故  $U(t-nT_{update})$  是从  $nT_{update}$  时刻开始到  $t$  时刻为止每个时隙的水平方向速度之和,即:  $U(t-nT_{update}) = M(nT_{update}) + M(nT_{update}+1) + \dots + M(t-1)$ , 其中  $t = \frac{T_1(n,q) + T_2(n,q)}{2}$ 。

[0045] 所述的  $f_U(x)$  是随机变量  $U(t-nT_{update})$  的概率密度函数,可以表述为:

$$[0046] \quad f_U(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} G(f) e^{-ifx} df,$$

[0047] 其中  $G(f) = \mathbf{p}(f) \mathbf{T}(f)^{t-nT_{update}} \mathbf{1}$ ,  $\mathbf{p}(f) = (P_{e1} e^{if}, P_{e2} e^{i2f}, \dots, P_{em} e^{imf})$ ,  $\mathbf{T}(f) =$



$(P_{jk}e^{ikf})_{j,k=1,2,\dots,m}$ ,  $\mathbf{T}(f)^{t-nT_{\text{update}}}$  是方阵  $\mathbf{T}(f)$  的  $(t-nT_{\text{update}})$  次方, 1 单位列向量, 维度为  $(t-nT_{\text{update}}) \times 1$ ,  $j = \sqrt{-1}$ , 是虚数单位。

[0048] 所述的  $T_1(n, q)$ 、 $T_2(n, q)$  分别表示第  $q$  个轮次中的中继与目的车辆通信的起始和结束时刻,  $T_1(n, q) = nT_{\text{update}} + (q-1)T_{I2V} + \alpha$ ,  $T_2(n, q) = nT_{\text{update}} + qT_{I2V}$ , 如图 2 所示。

[0049] 所述的  $M(r)$  表示车辆  $V_k$  在第  $r$  个时隙的水平方向速度。水平方向的速度的可能取值集合为:  $\mathcal{S} = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ 。从状态  $S_i$  到状态  $S_j$  的转移概率为  $P_{ij} = P\{M(r+1) = S_j | M(r) = S_i\}$ , 转移矩阵为  $\mathbf{T} = (P_{ij})_{i,j=1,2,\dots,m}$ 。

[0050] 所述的  $S_e$  表示车辆在  $nT_{\text{update}}$  时刻上报的水平速度  $M(nT_{\text{update}})$  所在的状态。

[0051] 步骤四: 确定目的车辆  $V_k$  最有可能出现的位置  $X_{V_k}$ 。

[0052] 所述的  $X_{V_k}$  是指在第  $q$  个轮次中车辆  $V_k$  出现概率最大的位置, 其位置包含水平位置  $\tilde{x}$  和垂直位置  $\tilde{y}$ , 即:  $X_{V_k} = (\tilde{x}, \tilde{y})$ , 其中  $\tilde{x}$ ,  $\tilde{y}$  分别表示了水平位置的概率密度函数  $f_{V_k^x}(x)$  的最大值和垂直位置的概率密度函数  $f_{V_k^y}(y)$  的最大值, 即:  $\tilde{x} = \arg \max f_{V_k^x}(x)$ ,  $\tilde{y} = \arg \max f_{V_k^y}(y)$ 。

[0053] 所述的  $f_{V_k^x}(x)$  是车辆  $V_k$  在  $t$  时刻水平方向的位置  $X_{V_k^x}(t)$  的概率密度函数。随机变量  $X_{V_k^x}(t)$  是车辆  $V_k$  在  $nT_{\text{update}}$  时刻的水平位置  $X_{V_k^x}(nT_{\text{update}})$  与从  $nT_{\text{update}}$  到  $t$  时刻的运动距离之和, 即:  $X_{V_k^x}(t) = X_{V_k^x}(nT_{\text{update}}) + U(t - nT_{\text{update}})$ , 其中  $t = \frac{T_1(n,q)+T_2(n,q)}{2}$ ,  $U(t-nT_{\text{update}})$  的概率密度函数由步骤三确定。

[0054] 所述的  $f_{V_k^y}(y)$  是指第  $q$  个轮次车辆  $V_k$  在垂直方向的位置的概率密度函数, 可以根据  $X_{V_k^y}(nT_{\text{update}})$  和  $N(nT_{\text{update}})$  并利用求  $f_{V_k^x}(x)$  的相同方法得到。

[0055] 步骤五: 在第  $q$  个轮次, 源路边设备  $I_i$  判断所有空闲路边设备是否满足最小信干噪比条件, 选择所有满足条件的空闲路边设备作为有效的中继节点。

[0056] 所述的空闲路边设备是指既没有作为源路边设备发送数据又没有作为其他源路边设备的中继节点的路边设备。

[0057] 所述的满足最小信干噪比条件是指, 当中继节点为  $I_j$  时,  $\Gamma(I_i, I_j) \geq \gamma_1$ ,  $\Gamma(I_j, V_k) \geq \gamma_2$ 。

[0058] 所述的  $\Gamma(I_i, I_j)$  是指在中继  $I_j$  的接收机端的信干噪比, 可以如下计算:

$$[0059] \quad \Gamma(I_i, I_j) = \frac{P_{I_i} G(I_i, I_j)}{N_0 + \sum_{r \neq i} P_{I_r} G(I_r, I_j)},$$

[0060] 其中的  $P_{I_i}$  表示路边设备  $I_i$  的发射功率,  $G(I_i, I_j)$  表示路边设备  $I_i$  到  $I_j$  的路径损耗,  $N_0$  是  $I_j$  的接收机前端的白噪声,  $\sum_{r \neq i} P_{I_r} G(I_r, I_j)$  表示除  $I_i$  外其他正在通信的路边设备对  $I_j$  接收  $I_i$  发送的数据造成的干扰。

[0061] 所述的路径损耗  $G(I_i, I_j)$  是大尺度衰落引起的损耗, 可以表示为:

$$[0062] \quad G(I_i, I_j) = |X_{I_i} - X_{I_j}|^{-u},$$

[0063] 其中  $u$  是一个大于 2 的常数损耗因子,  $X_z$  表示  $z$  的平面位置,  $|\cdot|$  表示平面欧式

距离。

[0064] 所述的  $\gamma_1$  是指路边设备之间通信时的最小信干噪比约束条件,只有当信干噪比不小于  $\gamma_1$  时才能成功传输数据。

[0065] 所述的  $\Gamma(I_j, V_k)$  是指目的车辆  $V_k$  的接收机端的信干噪比,可以如下计算:

$$[0066] \quad \Gamma(I_j, V_k) = \frac{P_{I_j} G(I_j, V_k)}{N_0 + \sum_{r \neq j} P_{I_r} G(I_r, V_k)},$$

[0067] 其中的  $P_{I_j}$  表示中继  $I_j$  的发射功率,  $G(I_j, V_k)$  表示中继  $I_j$  到目的车辆  $V_k$  的路径损耗,  $N_0$  是  $V_k$  的接收机前端的白噪声,  $\sum_{r \neq j} P_{I_r} G(I_r, V_k)$  表示除  $I_j$  外其他正在通信的路边设备对  $V_k$  接收  $I_j$  发送的数据造成的干扰。

[0068] 所述的路径损耗  $G(I_j, V_k)$  是大尺度衰落引起的损耗,可以表示为:

$$[0069] \quad G(I_j, V_k) = |X_{I_j} - X_{V_k}|^{-u},$$

[0070] 其中  $X_{V_k}$  是步骤四中确定目的车辆  $V_k$  最有可能出现的位置。

[0071] 所述的  $\gamma_2$  是指路边设备与车辆之间通信时的最小信干噪比约束条件,只有当信干噪比不小于  $\gamma_2$  时才能成功传输数据。

[0072] 步骤六:在第  $q$  个轮次,分别计算选择每个有效中继节点的链路传输容量。

[0073] 所述的链路传输容量可以如下计算:当中继节点为  $I_j$  时, I-R-V 链路如图 3 所示,其传输容量为:

$$[0074] \quad C(I_i, I_j, V_k) = R_1 d_1 + R_2 d_2,$$

[0075] 其中  $R_1$  是源路边设备  $I_i$  到中继  $I_j$  的数据传输速率,  $R_2$  是中继  $I_j$  到目的车辆  $V_k$  的数据传输速率。  $d_1, d_2$  是源路边设备  $I_i$  到中继  $I_j$  的距离和中继  $I_j$  到目的车辆  $V_k$  的距离,可以表示为:

$$[0076] \quad d_1 = |X_{I_i} - X_{I_j}|, d_2 = |X_{I_j} - X_{V_k}|,$$

[0077] 其中  $X_{V_k}$  是步骤四中确定目的车辆  $V_k$  最有可能出现的位置。

[0078] 步骤七:选择一个最大化链路传输容量的最佳中继节点,如果利用此最佳中继通信时的链路传输容量比源路边设备和目的车辆直接通信时的链路传输容量大或者源路边设备不能直接将数据成功发送到目的车辆,则选择此最佳中继传输数据;否则,若源路边设备和目的车辆可以直接通信,且直接通信时的链路传输容量比使用最佳中继时的链路传输容量大,则源路边设备与目的车辆直接通信。

[0079] 在第  $q$  个轮次,源路边设备  $I_i$  计算好一条 I-R-V 通信链路的传输容量后,以同样的方式计算所有可行的 I-R-V 链路,并从中选出一条满足信干噪比约束条件并最大化传输容量的 I-R-V 链路,其中的中继即为最佳中继,即:

$$[0080] \quad I_j^* = \arg \max_j C(I_i, I_j, V_k)$$

[0081] 如果  $C(I_i, I_j^*, V_k) > C(I_i, V_k)$ , 或者  $\Gamma(I_j, V_k) < \gamma_2$ , 则选择此最佳中继进行数据传输,即源路边设备  $I_i$  先将数据传送给最佳中继  $I_j^*$ , 发送时长  $\alpha$ , 中继  $I_j^*$  再将数据发送给目的车辆  $V_k$ , 发送时长  $\beta$ 。否则,若  $C(I_i, I_j^*, V_k) \leq C(I_i, V_k)$ , 且  $\Gamma(I_j, V_k) \geq \gamma_2$ , 则源路

边设备  $I_i$  直接将数据传送给目的车辆  $V_k$ , 发送时长为  $\alpha + \beta$ 。

[0082] 所述的  $C(I_i, V_k)$  是指源路边设备  $I_i$  直接与目的车辆  $V_k$  通信时的链路传输容量, 表示为:

$$[0083] \quad C(I_i, V_k) = R_3 d_3,$$

[0084] 其中  $R_3$  表示源路边设备  $I_i$  直接与目的车辆  $V_k$  通信时的数据传输速率,  $d_3 = |X_{I_i} - X_{V_k}|$  表示源路边设备  $I_i$  与目的车辆  $V_k$  之间的距离。

[0085] 所述的  $\Gamma(I_i, V_k)$  是指源路边设备  $I_i$  与目的车辆  $V_k$  直接通信时, 目的车辆  $V_k$  的接收机端的信干噪比, 可以如下计算:

$$[0086] \quad \Gamma(I_i, V_k) = \frac{P_{I_i} G(I_i, V_k)}{N_0 + \sum_{r \neq i} P_{I_r} G(I_r, V_k)},$$

[0087] 其中的  $P_{I_i}$  表示源路边设备  $I_i$  的发射功率,  $G(I_i, V_k)$  表示源路边设备  $I_i$  到目的车辆  $V_k$  的路径损耗,  $N_0$  是  $V_k$  的接收机前端的白噪声,  $\sum_{r \neq i} P_{I_r} G(I_r, V_k)$  表示除  $I_i$  外其他正在通信的路边设备对  $V_k$  接收  $I_i$  发送的数据造成的干扰。

[0088] 所述的路径损耗  $G(I_i, V_k)$  是大尺度衰落引起的损耗, 可以表示为:

$$[0089] \quad G(I_i, V_k) = |X_{I_i} - X_{V_k}|^{-\alpha},$$

[0090] 其中  $X_{V_k}$  是步骤四中确定目的车辆  $V_k$  最有可能出现的位置。

[0091] 上述最佳中继选择的过程可以归纳为如图 4 所示的算法流程图。图 4 中的算法流程图是每个轮次开始时, 路边设备做决定并选择最佳中继的过程。首先要根据目的车辆上报的位置和速度信息确定在这个轮次中最有可能出现的位置, 然后根据这一位置和其他 I-R-V 通信链路信息确定满足最小信干噪比条件的有效中继节点。所有有效中继节点在这一轮次必须是空闲的, 即既不可以作为其他通信的源路边设备, 也不可以作为其他通信的中继路边设备。然后分别计算选择每个有效中继节点时的链路传输容量, 从中选择最大化链路传输容量的中继节点作为最佳中继节点。如果此最大链路传输容量大于直接通信时的链路传输容量或者源路边设备不能直接将数据成功发送到目的车辆, 则更新信息, 即广播通知其他的路边设备已经选好了一条 I-R-V 通信链路, 此时源路边设备和中继路边设备均不是空闲的了, 接下来通过中继进行数据传输。否则, 若源路边设备和目的车辆可以直接通信, 且直接通信时的链路传输容量比使用最佳中继时的链路传输容量大, 则更新信息, 即广播通知其他的路边设备已经选好了一条直接通信链路, 此时源路边设备不是空闲的了, 接下来进行直接数据传输。

[0092] 图 5 是本发明实施例的效果示意图。仿真时长为 1000 个时隙,  $T_{\text{update}} = 20$ ,  $\alpha = 2$ ,  $\beta = 2$ ,  $T_{\text{I2V}} = \alpha + \beta = 4$ 。车辆总共会更新 50 次位置和速度信息, 每个更新间隔有 5 个轮次, 总共 250 个轮次。利用本发明的算法, 在每个轮次中, 需要通信的路边设备会选择一个最大化 I-R-V 链路传输容量的最佳中继。图 5 中的带圈曲线是使用本发明最佳中继算法后的仿真结果, 带圈曲线记录了整个网络在每一个轮次的总传输容量。为了显示本发明对网络性能的提升, 仿真时与另外两种算法进行了比较。一种是随机中继选择算法, 在满足最小信干噪比条件的空闲路边设备中随机选择一个作为中继节点。随机中继算法的信令开销要比最佳中继选择的开销小, 主要是因为不需要比较所有空闲路边设备作为中继时的链路传输容量, 而只需要找到一个满足要求的空闲路边设备即可。图 5 中的带三角形的曲线是

使用随机中继算法的结果。另一种是无中继算法,即所有路边设备不通过中继而是直接与目的的车辆进行通信,这种算法的信令开销最小,仿真结果体现在图 5 中的带方形的曲线。从图 5 的三条曲线可以看出,有中继时的传输容量比没有中继时的传输容量高,而利用最佳中继算法的效果比随机中继算法好。当然,有中继时的信令开销比没有中继时的开销大,而利用最佳中继算法是的信令开销也比随机中继算法大。故本发明的最佳中继算法是以增加一部分开销为代价来增大网络传输容量。在一定信令开销允许范围内,最佳中继算法可以有效提高网络的传输容量,从而改善了网络性能。

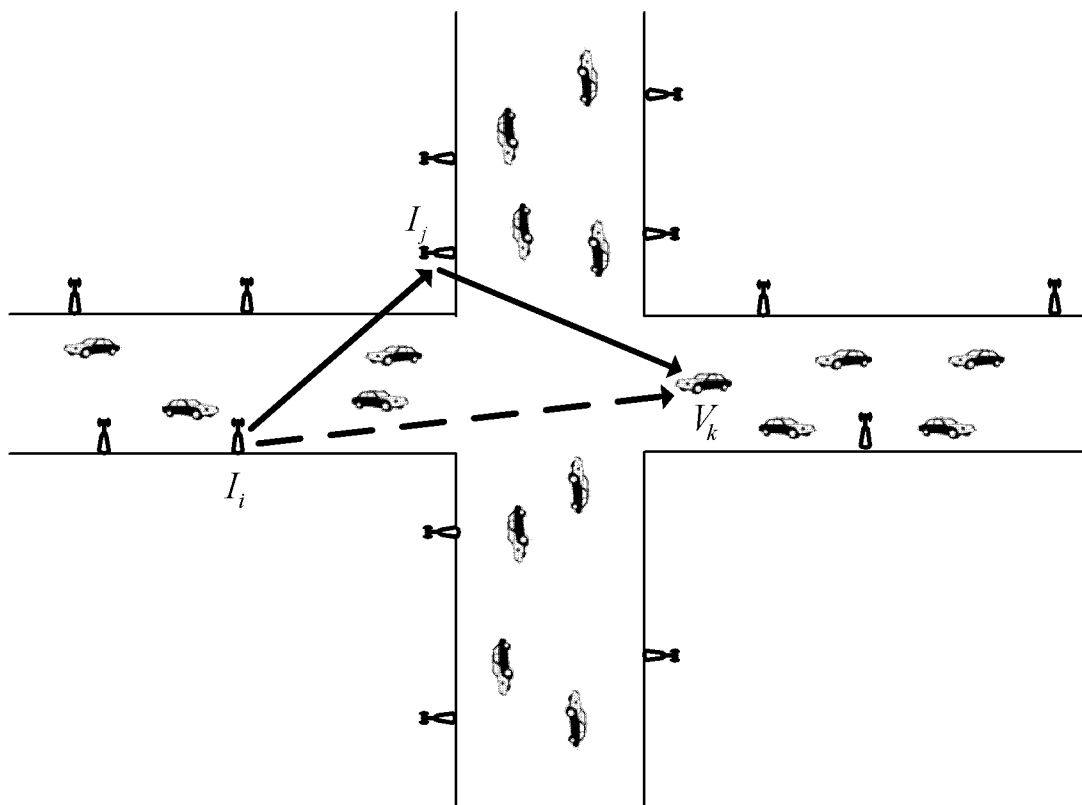


图 1

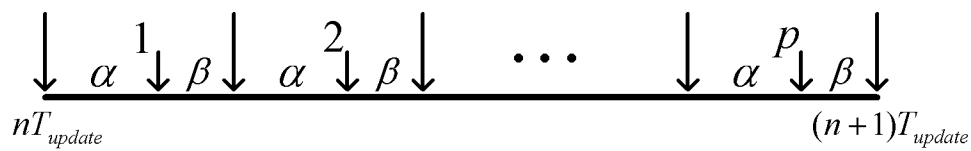


图 2

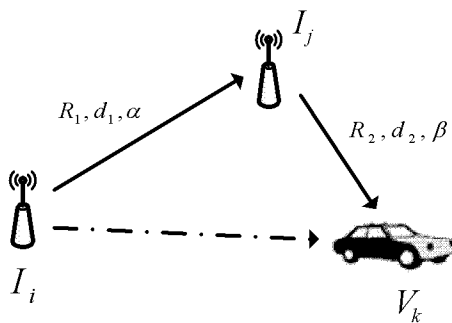


图 3

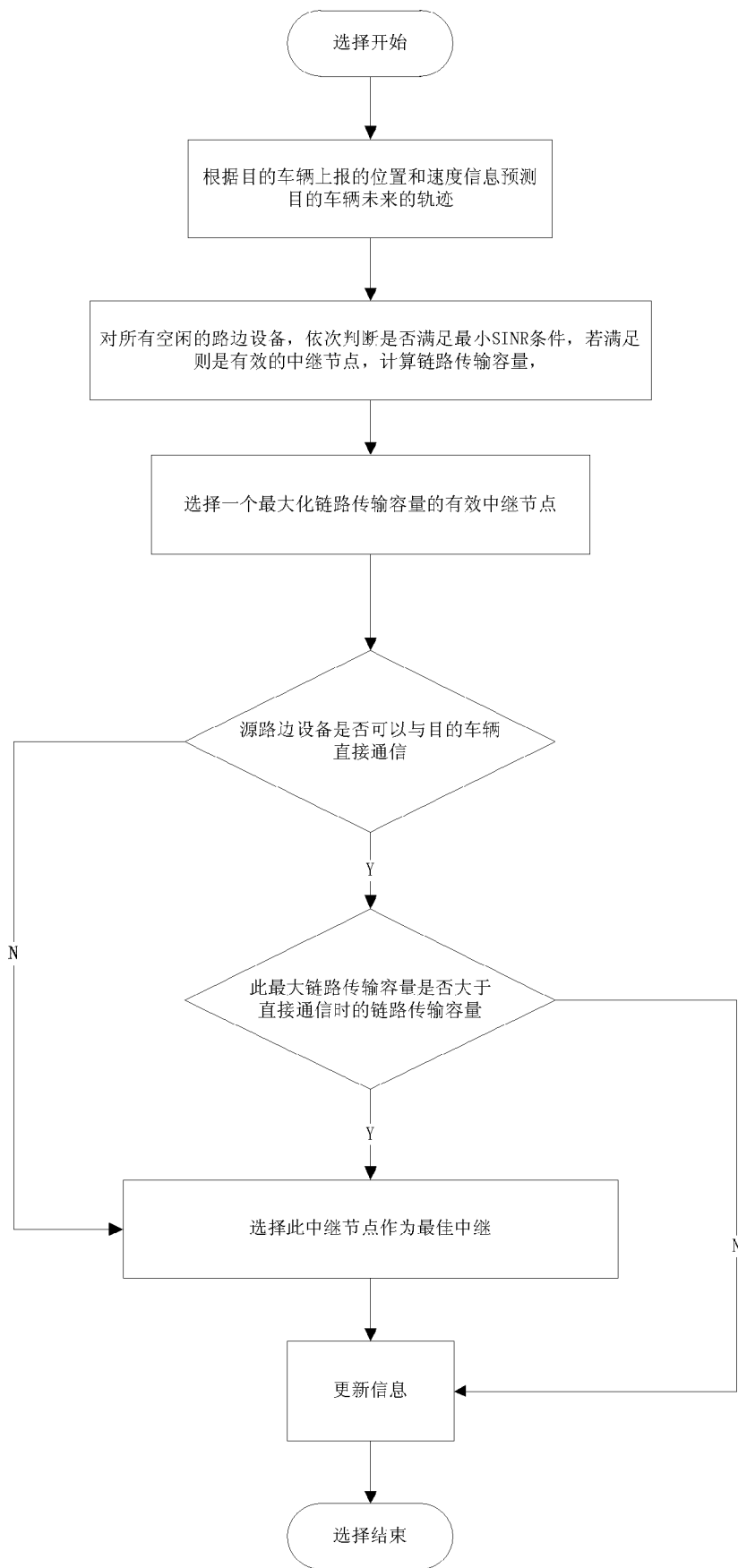


图 4

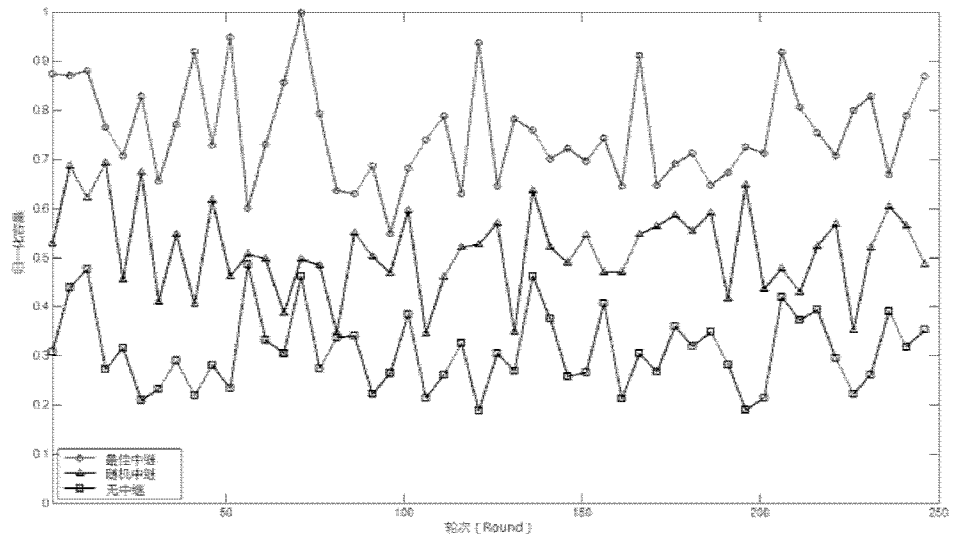


图 5