



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114646953 A

(43) 申请公布日 2022.06.21

(21) 申请号 202111536117.8

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100

(22) 申请日 2021.12.15

专利代理师 钱慰民 张鑫

(30) 优先权数据

63/127,049 2020.12.17 US

63/146,483 2021.02.05 US

17/367,303 2021.07.02 US

(51) Int.Cl.

G01S 13/06 (2006.01)

G01S 13/89 (2006.01)

G01S 7/40 (2006.01)

G01C 21/32 (2006.01)

G01C 21/36 (2006.01)

(71) 申请人 安波福技术有限公司

地址 巴巴多斯圣米迦勒

(72) 发明人 陈南虎 A·索马纳特

M·A·莫瓦德 A·索伦蒂诺

M·H·劳尔 J·波伦布斯基

A·萨默 张凯 U·伊尔格尔

A·约费 K·科古特

C·卡拉布鲁特 D·卡兰诺维奇

权利要求书2页 说明书20页 附图28页

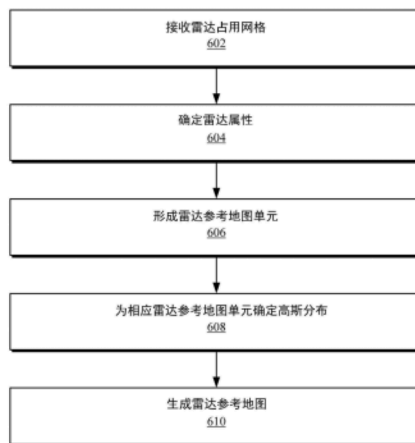
(54) 发明名称

雷达参考地图生成

(57) 摘要

描述了实现雷达参考地图生成的方法和系统。接收雷达占用网格，并根据雷达占用网格内的占用概率确定雷达属性。形成雷达参考地图单元，并且使用雷达属性来确定包含多个雷达属性的雷达参考地图单元的高斯分布。随后生成雷达参考地图，该雷达参考地图包括为包含多个雷达属性的雷达参考地图单元确定的高斯分布。通过这样做，所生成的雷达参考地图是准确的，同时在空间上是高效的。

600



1. 一种方法,包括:

通过处理器接收雷达占用网格,所述雷达占用网格包括所述雷达占用网格中的相应占用单元的占用概率和占用网格属性;

基于所述占用概率和所述占用网格属性确定雷达属性;

形成雷达参考地图单元;

针对包含多个雷达属性的每个雷达参考地图单元,确定所述雷达参考地图单元的高斯分布,所述高斯分布包括所述雷达参考地图单元内的所述雷达属性的均值和协方差;以及生成雷达参考地图,所述雷达参考地图包括:所述雷达参考地图单元和为包含所述多个雷达属性的所述雷达参考地图单元确定的所述高斯分布。

2. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述占用单元小于所述雷达参考地图单元。

3. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,进一步包括,针对不包含多个雷达属性的每个雷达参考地图单元,将所述雷达参考地图单元指示为未被占用。

4. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述雷达属性是所述占用单元中的一个或多个占用单元的相应组或集群的中心坐标。

5. 如权利要求4所述的方法,其特征在于,所述组是基于所述组内的所述占用单元的相应占用概率高于阈值来确定的。

6. 如权利要求4所述的方法,其特征在于,所述组是基于所述雷达占用网格的轮廓来确定的。

7. 如权利要求4所述的方法,其特征在于,所述组是基于所述雷达占用网格的边界框来确定的。

8. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述雷达属性包括基于所述占用概率、对象分类或雷达横截面值中的一个或多个的相应权重。

9. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,每个雷达参考地图单元将所述雷达属性建模为正态分布。

10. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述均值和协方差是基于形成所述雷达参考地图单元内的所述雷达属性的所述占用单元的占用概率的。

11. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,进一步包括基于以下各项中的一项或多项来确定所述雷达占用网格:

具有低准确度位置数据的多个交通工具运行;

高清晰度地图;

高准确度位置数据;或者

所述占用单元中的每一个占用单元的多个占用概率的融合。

12. 一种方法,包括:

由处理器接收雷达参考地图单元,每个雷达参考地图单元包括:

具有所述雷达参考地图单元内的雷达属性的均值和协方差的高斯分布;以及

与所述雷达参考地图单元相关联的元数据,所述元数据包括位置数据;

确定包括HD地图对象的对象属性的HD地图;

基于以下各项中的一项或多项来对准所述雷达参考地图的所述高斯分布:

所述HD地图对象的所述对象属性;或者

所述元数据;以及

输出经对准的高斯分布以供交通工具的系统用于驾驶。

13. 一种系统,包括:

至少一个处理器;以及

至少一个计算机可读存储介质,所述至少一个计算机可读存储介质包括指令,所述指令在被执行时使所述系统:

接收雷达占用网格,所述雷达占用网格包括所述雷达占用网格中的相应占用单元的占用概率或其他信息;

基于所述占用概率或所述其他信息确定雷达属性;

形成雷达参考地图单元;

针对包含多个雷达属性的每个雷达参考地图单元,确定所述雷达参考地图单元的高斯分布,所述高斯分布包括所述雷达参考地图单元内的所述雷达属性的均值和协方差;并且

生成雷达参考地图,所述雷达参考地图包括:所述雷达参考地图单元和为包含所述多个雷达属性的所述雷达参考地图单元确定的所述高斯分布。

14. 如权利要求13所述的系统,其特征在于,所述其他信息包括以下各项中的一项或多项:雷达横截面、幅度、来自其他传感器的对象分类、或机器学习信息。

15. 如权利要求13所述的系统,其特征在于,所述雷达属性的确定包括:对所述雷达占用网格应用聚类算法。

16. 如权利要求15所述的系统,其特征在于,所述雷达属性是所述占用单元中的一个或多个占用单元的相应集群的中心坐标。

17. 如权利要求13所述的系统,其特征在于:

所述指令进一步使所述系统确定所述雷达占用网格的所述占用单元中的哪些占用单元具有高于阈值的占用概率;并且

所述雷达属性包括占用概率高于所述阈值的所述占用单元的相应组。

18. 如权利要求17所述的系统,其特征在于,其中,所述雷达属性是占用概率高于所述阈值的占用单元的所述相应组的中心坐标。

19. 如权利要求13所述的系统,其特征在于,所述指令进一步使所述系统:针对不包含多个雷达属性的每个雷达参考地图单元,将所述雷达参考地图单元指示为未被占用。

20. 如权利要求13所述的系统,其特征在于,所述高斯分布的确定包括将所述雷达属性建模为正态分布。

雷达参考地图生成

相关申请的交叉引用

[0001] 本申请根据35U.S.C.119 (e) 要求于2021年2月5日提交的美国临时申请第63/146,483号和于2020年12月17日提交的美国临时申请第63/127,049号的权益,这些临时申请的公开内容通过引用整体并入本文。

背景技术

[0002] 雷达定位是一种使用雷达反射将交通工具定位到参考地图(例如,确定交通工具在地图上的位置)的技术。雷达定位可用于支持自主交通工具操作(例如,导航、路径规划、车道确定和居中以及没有车道标记情况下的曲线执行)。为了相对于其环境准确定位交通工具,雷达定位包括获得来自在地图上具有已知位置(例如,通用横轴墨卡托(Universal Transverse Mercator)或UTM框架中的位置)的静止定位对象(例如,与道路相邻的对象或空间统计模式)的反射。当此类定位对象的可用性不足时(例如,使用质量差或不完整的雷达参考地图),通常会发起驾驶员接管,这可超控半自主或完全自主控制。与交通工具在自主控制下操作相比,增加驾驶员接管可能不太安全,并且它们的频率可降低驾驶员的满意度。因此,易于生成、更新和使用的完整且准确的地图可以极大地有益于驾驶员辅助或自动驾驶能力。

发明内容

[0003] 下面描述的各方面包括用于雷达参考地图生成的方法。该方法包括由处理器接收雷达占用网格,该雷达占用网格包括该雷达占用网格中的相应占用单元的占用概率。该方法还包括:基于占用概率确定雷达属性以及形成雷达参考地图单元。该方法进一步包括,针对包含多个雷达属性的每个雷达参考地图单元,确定该雷达参考地图单元的高斯分布。高斯分布包括雷达参考地图单元内的雷达属性的均值和协方差。该方法还包括:生成雷达参考地图,该雷达参考地图包括雷达参考地图单元和为包含多个雷达属性的雷达参考地图单元确定的高斯分布。

[0004] 下面描述的各方面还包括用于实现雷达参考地图生成的系统。该系统包括至少一个处理器和至少一个计算机可读存储介质,该计算机可读存储介质包括指令,该指令当由处理器执行时,使系统接收雷达占用网格,该雷达占用网格包括该雷达占用网格中的相应占用单元的占用概率。该指令还使系统:基于占用概率确定雷达属性,并且形成雷达参考地图单元。该指令进一步使系统,针对包含多个雷达属性的每个雷达参考地图单元,确定该雷达参考地图单元的高斯分布。高斯分布包括雷达参考地图单元内的雷达属性的均值和协方差。该指令进一步使系统生成雷达参考地图,该雷达参考地图包括雷达参考地图单元和为包含多个雷达属性的雷达参考地图单元确定的高斯分布。

附图说明

[0005] 参考以下附图描述了实现雷达参考地图生成的系统和技术。贯穿附图使用相同的

数字来引用相似的特征和部件：

图1是根据本公开的技术的在其中可以实现雷达参考地图生成的环境的示例图示；

图2-1是根据本公开的技术的可用于实现基于雷达检测的雷达参考地图生成和交通工具定位的系统的示例图示；

图2-2是可用于实现基于雷达检测的交通工具定位的雷达定位模块的示例图示；

图2-3是可用于实现基于雷达检测的交通工具定位的雷达定位模块的另一示例图示；

图3是根据本公开的技术的生成雷达参考地图的示例图示；

图4是根据本公开的技术的确定雷达占用网格的示例图示；

图5是根据本公开的技术的从雷达属性生成雷达参考地图的示例图示；

图6是根据本公开的技术的生成雷达参考地图的过程的示例图示；

图7是根据本公开的技术的基于具有低准确度位置数据的多个交通工具运行(run)生成雷达占用网格的示例图示；

图8是根据本公开的技术的基于具有低准确度位置数据的多个交通工具运行生成雷达占用网格的另一示例图示；

图9是根据本公开的技术的基于具有低准确度位置数据的多个交通工具运行生成雷达占用网格的过程的示例图示；

图10是根据本公开的技术的使用低准确度位置数据和高清晰度(HD)地图生成雷达参考地图的示例图示；

图11是根据本公开的技术的使用低准确度位置数据和HD地图生成雷达参考地图的过程的示例图示；

图12是根据本公开的技术的使用低准确度位置数据和HD地图生成雷达参考地图的另一示例图示；

图13是根据本公开的技术的使用低准确度位置数据和HD地图生成雷达参考地图的过程的另一示例图示；

图14是根据本公开的技术的使用HD地图确定雷达占用网格的示例图示；

图15是根据本公开的技术的使用HD地图确定雷达占用网格的另一示例图示；

图16是根据本公开的技术的使用HD地图确定雷达占用网格的过程的示例图示；

图17示出了根据本公开的技术的作为用于通过多次迭代更新用于基于雷达检测的交通工具定位的雷达参考地图的示例过程的流程图；

图18示出了根据本公开的技术的被配置用于通过多次迭代更新用于基于雷达检测的交通工具定位的雷达参考地图的示例实现1800；

图19示出了根据本公开的技术的用于通过多次迭代更新用于基于雷达检测的交通工具定位的雷达参考地图的流水线；

图20-1至图20-3示出了根据本公开的技术的用于通过多次迭代更新用于基于雷达检测的交通工具定位的雷达参考地图的事后观察(hindsight)的示例实现；

图21示出了根据本公开的技术的用于在通过多次迭代更新用于基于雷达检测的交通工具定位的雷达参考地图时确定雷达坐标的事后观察最大边界的示例过程；

图22-1至图22-2示出了根据本公开的技术的用于基于雷达检测的交通工具定位的过程的示例的流程图;以及

图23示出了用于基于雷达检测的交通工具定位的示例过程的流程图。

具体实施方式

概述

[0006] 雷达定位是一种使用雷达反射来相对于其他对象(例如,其他交通工具、对象或行人)定位交通工具的技术。雷达定位的一个应用是将交通工具定位到地图,类似于地理空间定位系统(例如GPS、GNSS、GLONASS)。正如那些定位系统需要足够的信号接收一样,雷达定位需要来自具有已知位置的雷达定位对象的雷达反射。这些对象的位置通常被包含在雷达参考地图中。

[0007] 描述了实现雷达参考地图生成的方法和系统。通过利用在本文描述的技术,可以生成稳健且跨度大的雷达参考地图,通常无需专用或昂贵的传感器模块。例如,接收雷达占用网格,并根据雷达占用网格内的占用概率确定雷达属性。形成雷达参考地图单元,并且使用雷达属性来确定包含多个雷达属性的雷达参考地图单元的高斯分布。随后生成雷达参考地图,该雷达参考地图包括为包含多个雷达属性的雷达参考地图单元确定的高斯分布。通过这样做,所生成的雷达参考地图是准确的,同时在空间上是高效的。这种改进的定位能力可在由控制器使用从而以更高的安全性和舒适度操作交通工具时改进驾驶。利用改进定位,交通工具不会犹豫并且可以以更高的准确度在环境中操纵,这可以让乘客在交通工具在自动或半自动控制下驾驶时放心。

示例环境

[0008] 图1是可以生成、更新或使用雷达参考地图的环境的示例图示100。在示例图示100中,系统102被设置在正沿着道路106行驶的交通工具104(例如,主交通工具或“自我(ego)交通工具”)中。

[0009] 系统102利用雷达系统(未示出)来发射雷达信号(未示出)。雷达系统从对象110接收雷达信号的雷达反射108。在示例图示100中,雷达反射108-1对应于对象110-1(例如,标志),雷达反射108-2对应于对象110-2(例如,建筑物),并且雷达反射108-3对应于对象110-3(例如,护栏)。

[0010] 雷达反射108可用于生成雷达参考地图,如参考图3-13所讨论的。雷达反射108还可用于更新现有的雷达参考地图,如参考图17-21所讨论的。雷达反射108可以进一步与现有的雷达参考地图结合使用,以对交通工具104进行雷达定位,如参考22和图23所讨论的。

示例系统

[0011] 图2-1是可用于生成、更新或使用雷达参考地图的系统的示例图示200-1。示例图示200-1包括交通工具104的系统102和云系统202。尽管交通工具104被示为汽车,但是交通工具104可包括任何交通工具(例如,卡车、公共汽车、船、飞机等)而不脱离本公开的范围。系统102和云系统202可以经由通信链路204连接。系统102和云系统202中的一者或两者可用于执行本文所述的技术。

[0012] 如相应系统下方所示,系统各自包括至少一个处理器206(例如,处理器206-1和处理器206-2)、至少一个计算机可读存储介质208(例如,计算机可读存储介质208-1和208-

2)、雷达定位模块210(例如,雷达定位模块210-1和210-2)和通信系统212(例如,通信系统212-1和212-2)。通信系统212促进通信链路204。

[0013] 系统102另外包含导航系统214和雷达系统216。导航系统214可包括地理空间定位系统(例如, GPS、GNSS或GLONASS传感器)、惯性测量系统(例如,陀螺仪或加速度计)或其他传感器(例如,磁力计、软件定位引擎、车轮滴答(tick)传感器、激光雷达里程表、视觉里程表、雷达里程表或其他传感器里程表)。导航系统214可以提供高准确度位置数据(例如,在一米内)或低准确度位置数据(例如,在几米内)。雷达系统216指示用于发射和接收雷达信号(例如,雷达反射108)的雷达硬件。在一些实现中,雷达系统216向雷达定位模块210提供静态检测(例如,可以在雷达系统216内执行过滤)。

[0014] 处理器206(例如,应用处理器、微处理器、数字信号处理器(DSP)或控制器)执行存储在计算机可读存储介质208(例如,非瞬态存储设备,诸如硬盘驱动器、SSD、闪存、只读存储器(ROM)、EPROM或EEPROM)内的指令218(例如指令218-1和218-2),以使系统102和云系统202执行本文描述的技术。指令218可以是操作系统和/或系统102和云系统202的一个或多个应用的一部分。

[0015] 指令218使系统102和云系统202对数据220(例如220-1和220-2)采取行动(例如,创建、接收、修改、删除、发射或显示)。数据220可以包括应用数据、模块数据、传感器数据或I/O数据。尽管示为在计算机可读存储介质208内,但数据220的各部分可以在系统102和云系统202的随机存取存储器(RAM)或高速缓存(未示出)内。此外,指令218和/或数据220可以位于系统102和云系统202的远程。

[0016] 雷达定位模块210(或者其各部分)可由计算机可读存储介质208组成,或者可为独立部件(例如,在与处理器206和计算机可读存储介质208进行通信的专用硬件中执行的独立部件)。例如,指令218可以使处理器206实现或以其他方式使系统102或云系统202实现在此描述的技术。

[0017] 图2-2是可用于实现基于雷达检测的交通工具定位的雷达定位模块210的示例图示200-2。在示例图示200-2中,雷达定位模块210被配置为处于参考模式。当使用雷达定位模块210来构建雷达参考地图时使用该参考模式。雷达定位模块210包括两个子模块、交通工具状态估计器222、扫描匹配器224和两个可选的子模块、静态对象标识器226、和占用网格生成器228。静态对象标识器226和占用网格生成器228中的一者或两者可能存在或可能不存在。

[0018] 交通工具状态估计器222从导航系统(例如,来自图2-1的导航系统214)接收导航数据230。通常,在参考模式中,导航数据230可以来自提供比商业或消费级导航系统(例如,用于大批量生产的导航系统)更高层次的准确度的高质量导航系统。根据导航数据230,交通工具状态估计器222确定与交通工具104的当前动态状态(例如,速度、偏航速率)有关的自我轨迹信息,并且可以将状态估计和其他导航数据230(例如,交通工具104纬度和经度)提供给存在于雷达定位模块210中的任何其他子模块。自我轨迹信息包括源自交通工具的系统的、可用于预测交通工具的方向和速度的信息。

[0019] 静态对象标识器226从交通工具104周围的一个或多个雷达传感器位置接收雷达检测232。如果没有使用静态对象标识器226,则雷达检测232可以由以下接收:占用网格生成器228、扫描匹配器224、或被设计为接受雷达检测232并将雷达数据分发给交通工具系

统的其他模块和子模块的另一子模块。静态对象标识器226基于来自交通工具状态估计器222的自我轨迹信息确定雷达检测232是否是静态检测,并且将任何标识出的静态检测输出到占用网格生成器228(如果它正在被使用的话)或扫描匹配器224。

[0020] 占用网格生成器228可以接收以下各项作为输入:雷达检测232(如果静态对象标识器226正未被雷达定位模块210使用),或由静态对象标识器226输出的静态雷达检测,以及,从交通工具状态估计器222输出的自我轨迹信息和导航数据230。占用网格生成器228使用该输入来确定在交通工具104的环境中的任何给定位置处的占用的统计概率(例如,占用网格),如在本文档的其他部分中所讨论的。

[0021] 扫描匹配器224可以接收自我轨迹信息和属性数据作为输入。属性数据可以是雷达检测232、来自静态对象标识器226的静态雷达检测、或者由占用网格生成器228输出的占用网格,这取决于正在使用哪些可选子模块。如本文档的其他部分所述,扫描匹配器224找到属性数据与高质量导航数据230之间的最佳正态分布转换(NDT)并输出NDT雷达参考地图234。

[0022] 图2-3是可用于实现基于雷达检测的交通工具定位的雷达定位模块的另一示例图示200-3。在示例图示200-3中,雷达定位模块210被配置为处于实时定位模式。雷达定位模块210的实时定位模式与参考模式之间的主要区别包括:源自低质量导航系统的导航数据230和给扫描匹配器模块224的额外输入。实时定位模式下的雷达定位模块210的输出是交通工具104的经更新的交通工具姿态236。

[0023] 在实时定位模式中,除了属性数据和自我轨迹信息之外,扫描匹配器224还接收NDT雷达参考地图234作为输入。扫描匹配器使用该输入来确定NDT网格。将NDT网格与NDT雷达参考地图进行比较以确定经更新的交通工具姿态236。

[0024] 在一个非限制性示例中,雷达定位模块210可以在配备有高质量GNSS系统的交通工具104中的参考模式中被使用,该高质量GNSS系统被特别配置为创建或协助创建NDT雷达参考地图。实时定位模式可以被认为是雷达定位模块210的正常操作模式;也就是说,没有专门配置为创建NDT雷达参考地图的交通工具可以在实时定位模式下与雷达定位模块210一起正常操作。

构建雷达参考地图

[0025] 图3是从雷达检测生成雷达参考地图的示例图示300。示例图示300可由系统102和/或云系统202执行。在302处,接收雷达检测304。雷达检测304包括静止雷达检测(例如,来自雷达系统216的对静止对象的检测),该静止雷达检测具有对应的相应时间/位置的全球坐标(例如,来自导航系统214)。检测可以是诸如标志、杆、屏障、地标、建筑物、立交桥、路缘石之类的对象,或诸如是栅栏、树木、植物群、或树叶之类的与道路相邻的对象,或者是空间统计模式。全球坐标可以包括高准确度位置数据(例如,当导航系统214是高准确度导航系统时)。雷达检测304可以包括点云,具有对应的不确定性,和/或包括各种雷达数据或传感器测量。

[0026] 在306处,从雷达检测302确定雷达占用网格308。雷达占用网格308是环境的基于网格的表示。例如,雷达占用网格308可以是贝叶斯、登普斯特谢弗(Dempster Shafer)或其他类型的占用网格。雷达占用网格308的每个单元表示空间的独立部分,并且雷达占用网格308的每个单元值表示空间的对应部分被占用的概率(例如,0-100%)。单元大约为0%的概

率可以指示空间的对应部分是自由的,而接近100%的概率可以指示空间的对应部分被占用,并因此不是自由空间。确定雷达占用网格308的技术将关于图4、图7-图9以及图14-图17进一步讨论。

[0027] 在310处,从雷达占用网格308确定雷达属性312(例如,属性或属性数据)。雷达属性312可以是雷达占用网格308的具有大于阈值的概率的相应单元组的中心坐标。在一些实现中,雷达属性312可以基于其他方面(诸如雷达横截面(RCS)、雷达检测304的幅度、来自其他传感器的信息、或机器学习),单独地或结合概率。不管它们是如何确定的,雷达属性312都包括雷达占用网格308的单元的集群、轮廓、或边界框。雷达属性312可具有基于相应雷达属性312的概率、分类、或横截面值中的一个或多个的权重。可以使用二值化、聚类算法、或对雷达占用网格308的机器学习来确定雷达属性312。雷达属性312的确定通常在去除噪声的同时对雷达占用网格308的单元进行分组。

[0028] 在314处,从雷达属性312生成雷达参考地图316。雷达参考地图316可以是统计参考地图(例如高斯表示)。雷达参考地图316是与被占用区域相对应的高斯318的集合。高斯分布318(或雷达参考地图316的单元)具有相关联的位置信息(例如,低质量或高质量的位置信息,取决于雷达参考地图316是如何生成的)。雷达参考地图316的每个单元可以具有单个高斯分布318或可以是空白的。尽管不作要求,但雷达参考地图316具有比雷达占用网格308的单元更大的单元。雷达参考地图316可以是独立地图或另一地图中的图层(例如,高清晰度(HD)地图中的图层)。

[0029] 雷达参考地图316可以包含与相应高斯分布318相关联的元数据。例如,元数据可以包含与高斯分布的318的集群的形状或尺寸有关的信息。元数据还可以包括对象关联,例如某些高斯分布318属于标志或护栏。位置数据也可被包含在元数据内。生成雷达参考地图316的技术将关于图5、图6以及图10-图13进一步讨论。

[0030] 图4是从雷达检测304确定雷达占用网格308的示例图示400。示例图示400通常由系统102执行,但是示例图示400的部分或全部可以由云系统202执行。示例图示400假设与雷达检测304相关联的位置数据是高准确度位置数据(例如,导航系统214包含高准确度GNSS)。

[0031] 在402处,接收一组(例如,时间)的雷达检测304(例如,对应于零点的雷达检测304),并且从该组雷达检测304确定雷达占用证据404。雷达占用证据404对应于雷达占用网格308的相应单元并且指示雷达占用网格308内的被占用空间。雷达占用证据404基于与一组雷达检测304以及相关联的距离和方位角不确定性相对应的雷达反射108。

[0032] 在406处,从雷达占用证据404确定雷达占用概率408。例如,雷达占用概率408可由等式1给出:

$$p=0.5+0.5 \cdot e \quad [1]$$

其中p是雷达占用概率408,并且e是占用证据404。

[0033] 可以针对与稍后时间/位置相对应的其他组的雷达检测304重复步骤402和406。对于较晚的时间/位置中的每一个,雷达占用概率408在410处与经衰减且经移位的雷达占用网格412融合。经衰减且经移位的雷达占用网格412表示具有衰减概率的当前雷达占用网格414(例如,当前时间/位置的雷达占用网格308)和由于交通工具在前一时间/位置与当前时间/位置之间的移动而移位的单元。融合用于基于与较晚时间/位置相对应的后续雷达检测

304来更新雷达占用网格308。

[0034] 为了生成经衰减且经移位的雷达占用网格412,在416处,当前雷达占用网格414(例如,在相应位置处)被衰减以形成衰减雷达占用网格418。衰减包括从当前雷达占用网格414中忘记、最小化或以其他方式移除旧证据。这确保只有最近生成的单元被用于融合。需要说明的是,雷达占用网格308没有衰减;而是,作为雷达占用网格308的快照的当前雷达占用网格414被衰减。

[0035] 经衰减的雷达占用网格418随后在420处移位以形成经衰减且经移位的雷达占用网格412。雷达占用网格308(和当前雷达占用网格414)的每个单元表示一区域。因此,当交通工具104移动时,网格必须被移位。为了移位网格,接收移位/衰减时的交通工具位置422。将经衰减的雷达占用网格418移位与交通工具位置422相对应的整数个单元。例如,该整数可以基于与未移位的占用网格(例如,经衰减的雷达占用网格418和当前雷达占用网格414)相对应的交通工具位置422与交通工具位置422之间的变化。

[0036] 如上所述,经衰减且经移位的雷达占用网格412在410处与当前一组雷达检测304的雷达占用概率408融合。随着时间的推移,融合有效地累积雷达占用概率408,以使雷达占用网格308更加稳健。可以使用任何融合方法。例如,可以根据等式2使用贝叶斯融合方法:

$$p_{\text{新}} = \frac{p_{\text{旧}} \cdot p_{\text{测量}}}{(p_{\text{旧}} \cdot p_{\text{测量}}) + (1 - p_{\text{旧}}) \cdot (1 - p_{\text{测量}})} \quad [2]$$

其中 $p_{\text{新}}$ 是相应单元(例如,在雷达占用网格308中)的占用概率, $p_{\text{旧}}$ 是相应单元(例如,在经衰减且经移位的雷达占用网格412中)的现有雷达占用概率,并且 $p_{\text{测量}}$ 是相应单元的雷达占用概率408。

[0037] 通过使用示例图示400,可以融合来自多个时间/位置的雷达占用概率408。这样做时,雷达占用网格308变得准确和稳健以用于示例图示300。

[0038] 图5是从雷达属性312确定雷达参考地图316的示例图示500。在502处,建立正态分布转换(NDT)单元504。NDT单元504是雷达参考地图316的单元。NDT单元504通常比雷达占用网格308的单元大得多(例如,大14倍)。

[0039] 对于具有多个雷达属性312的每个NDT单元504,确定高斯分布318(例如,具有均值和协方差的多元分布)。为了这样做,在506处,为相应的NDT单元504确定均值和协方差508。均值和协方差508基于在相应NDT单元504内标识的雷达属性312。可以基于等式3确定相应NDT单元504的均值:

$$\mu_i = \sum_{j=1}^n p_j x_j \quad [3]$$

其中 p_j 是雷达占用网格308在雷达占用网格308的给定单元处的占用概率, x_j 是给定的单元位置,并且 n 是相应NDT单元504的雷达属性312内的单元的数量。

[0040] 可以基于等式4确定相应NDT单元504的协方差(例如,2x2矩阵):

$$\Sigma_i = \sum_{j=1}^n p_j (x_j - \mu_i)(x_j - \mu_i)^T \quad [4]$$

[0041] 有利地,均值和协方差508基于占用概率。在510处,可以操纵相应NDT单元504的协方差,使得协方差矩阵的最小特征值是协方差矩阵的最大特征值的至少某个倍数。均值和协方差508(或如果执行步骤510,则为经操纵的协方差)构成相应NDT单元504的高斯分布318。如果在相应的NDT单元504内有一个或更少的雷达属性312,则相应的NDT单元504被指示为未被占用。

[0042] 随后可以对其他NDT单元504执行步骤506和510。在512处,相应NDT单元504的高斯分布318被组合以形成雷达参考地图316。一旦被组合,雷达参考地图316的NDT单元504可以具有单个高斯分布318或什么也没有(例如,指示为未被占用)。

[0043] 尽管步骤506和510被讨论为对相应的NDT单元504执行并随后对其他NDT单元504执行,但在一些实现中,可以在对作为组的NDT单元504执行步骤510之前对作为组的NDT单元504执行步骤506。例如,可以为组中的每个NDT单元504确定均值和协方差508。随后,可以根据需要为该组中的每个NDT单元504操纵协方差。

[0044] 通过使用示例图示300、400和500的技术,可以生成准确且空间高效的雷达参考地图。使用空间高效的地图降低计算要求并实现更快的定位以支持驾驶员辅助和自动驾驶功能。

[0045] 图6是构建雷达参考地图316的方法的示例图示600。示例图示600可以利用先前描述的示例来实现,诸如示例图示100、300、400和500。操作602至610可由系统102和/或云系统202的一个或多个实体(例如,雷达定位模块210)来执行。示出和/或描述操作的顺序不旨在解释为限制,并且可以以任何顺序组合操作的任何数量或组合以实现图示的方法或者替代方法。

[0046] 在602处,接收雷达占用网格。例如,雷达定位模块210可以接收雷达占用网格308。

[0047] 在604处,从雷达占用网格确定雷达属性。例如,雷达定位模块210可以对雷达占用网格308内的占用概率使用阈值处理来确定雷达属性312。雷达属性312可以包括雷达占用网格的具有高于阈值或在阈值范围内的占用概率的相应单元组的中心坐标。

[0048] 在606处,形成雷达参考地图单元。例如,雷达定位模块210可以创建雷达参考地图316的NDT单元504。

[0049] 在608处,为包含多个雷达属性的雷达参考地图单元确定高斯分布。例如,雷达定位模块210可以确定包含多个雷达属性312的NDT单元504中的每一个的均值和协方差508。

[0050] 在610处,生成雷达参考地图。雷达参考地图包括包含高斯分布的雷达参考地图单元和被指示为未被占用的雷达参考地图单元。被指示为未被占用的雷达参考地图单元对应于不包含多个雷达属性的雷达参考地图单元。例如,雷达定位模块210可以将具有高斯分布318的NDT单元504与被指示为未被占用的NDT单元504组合以形成雷达参考地图316。

[0051] 图7是使用具有低准确度位置数据的多个交通工具运行来确定雷达占用概率408的示例图示700。图8是类似过程的示例图示800。因此,以下描述同时描述示例图示700和800。虽然示例图示700和800通常由云系统202基于从多个交通工具运行接收的雷达检测304来执行,但是步骤中的一个或多个可以由系统102执行(例如,收集雷达检测304和使用通信系统212将雷达检测304发射给云系统202)。随后可以在410处融合雷达占用概率408以创建雷达占用网格308。随后可以从雷达占用网格308生成雷达参考地图316,类似于示例图示100和300。

[0052] 对于大区域,收集高准确度位置数据通常是不切实际或昂贵的。示例图示700和800使用具有低准确度位置数据的多个运行来确定雷达占用概率408,该低准确度位置数据诸如是由在消费者和商用交通工具内实现的大多数导航系统(例如,导航系统214)生成的低准确度位置数据。由于低准确度的位置数据,需要多个运行以获得准确的占用概率408。传统技术,诸如多个运行平均,通常导致模糊和无用的概率数据。

[0053] 示例图示700和800使用多个运行702(例如,运行702A和运行702B)的统计地图融合来校正低准确度位置数据中的误差。可以使用任何数量的运行702(尽管不止一个),并且可以使用同一交通工具或多个交通工具并且在不同时间创建运行702。统计图融合可以是扩展粒子滤波器同步定位和地图构建(simultaneous localization and mapping,SLAM)算法。

[0054] 在704处,在给定位置处(例如,在时间 $t=0$ 处)创建粒子706。虽然粒子706对应于交通工具104的相应可能的未来位置,但是具体的进一步位置尚未确定。粒子706基于对应于给定位置(例如,来自导航系统214)的交通工具轨迹708。

[0055] 在710处,预测粒子的未来位置以形成(例如,交通工具104的)预测位置712。预测是基于交通工具轨迹708。例如,交通工具轨迹708可以包括速度和偏航速率信息。速度和偏航速率可用于预测相应运行702的新姿态,并因此预测粒子706的预测位置712。

[0056] 在714处,更新粒子权重716。为了这样做,粒子706被投影到雷达占用网格308上,其中每个粒子706具有对应的网格单元。对应网格单元中的所有概率值(例如,来自多个运行702)的总和是粒子706的权重。换言之,粒子706的权重对应于下一雷达检测304与预测位置712拟合的程度。

[0057] 在718处,使用粒子权重716来更新现有概率,以创建雷达占用概率408。

[0058] 在720处,对粒子重新采样以创建重新采样的粒子722。权重高的粒子可能会分裂,而权重低的粒子可能会消失。重新采样的粒子722成为时间 $t+1$ 处的粒子以用于位置预测(步骤710)。重新采样的粒子722也可用于校正交通工具轨迹708。

[0059] 随着时间 t 增加,雷达占用概率408被更新,并且根据410将雷达占用概率408与先前的雷达占用概率融合。

[0060] 示例图示700和800的一个优点是它们同时使用来自运行702的数据来构建雷达占用概率408。因此,每组粒子706包含所有运行702的相同数据。这意味着一个粒子706的雷达占用概率408包含来自所有运行702的数据。此外,使用不止一个粒子706更新雷达占用概率408(例如,在718处)。统计地图融合还允许较新的运行比旧的运行加权更大,使得可以在雷达占用网格308的单元级别上补偿变化检测(季节性植被变化、建筑等)。

[0061] 通过使用示例图示700和800的技术,可以在不使用高准确度位置数据的情况下(例如,通过使用消费者交通工具)生成准确的雷达参考地图。因此,在更广泛的位置中生成雷达参考地图更容易/更可行。

[0062] 图9是确定雷达占用概率408的方法的示例图示900。示例图示900可以利用先前描述的示例来实现,诸如示例图示700和800。操作902至910可由系统102和/或云系统202的一个或多个实体(例如,雷达定位模块210)来执行。示出和/或描述操作的顺序不旨在解释为限制,并且可以以任何顺序组合操作的任何数量或组合以实现图示的方法或者替代方法。

[0063] 在902处,创建粒子。例如,雷达定位模块210可以接收雷达检测304并创建与交通

工具104(或各交通工具,如果运行702对应于多个交通工具的话)的可能未来位置相对应的粒子706。

[0064] 在904处,为粒子预测粒子位置。例如,雷达定位模块210可以接收交通工具轨迹708并确定预测位置712。

[0065] 在906处,更新粒子的粒子权重716。例如,雷达定位模块210可以基于与稍后时间相对应的雷达检测304来确定粒子权重716。

[0066] 在908处,基于粒子权重更新概率。例如,雷达定位模块210可以使用粒子权重716来确定雷达占用概率408,以便在410处进行融合。

[0067] 在910处,重新采样粒子。例如,雷达定位模块210可以创建重新采样的粒子722,以用于在710处预测未来位置。

[0068] 图10是使用低准确度位置数据和HD地图1002生成雷达参考地图316的示例图示1000。示例图示1000通常由系统102实现。

[0069] HD地图1002包含在1006处为HD地图1002内的HD地图对象1008确定的对象属性1004。HD地图对象1008可以包括街道标志、立交桥、护栏、交通控制设备、柱子、建筑物、k-铁路、或其他半永久性对象。HD地图1002包含关于HD地图对象1008中的每一个的信息。

[0070] 可以在1006处确定的对象属性1004包括诸如类型1010、尺寸/取向1012、位置1014、到相应HD地图对象1008的道路1016的链接、以及雷达硬件信息1018之类的方面。类型1010可以定义相应HD地图对象1008,诸如,是路牌、立交桥、护栏、交通控制设备、柱子、建筑物、k-轨道、或其他半永久性对象。尺寸/取向1012可以包括相应HD地图对象1008的物理尺寸和/或取向(例如,纵向的相对于横向的、相对于地面的旋转、相对于地面的高度)。

[0071] 位置1014可以包括相应对象的UTM坐标,并且到道路1016的链接可以包括相应对象相对于对应道路的特定位置。例如,护栏可能相对于其引用的位置有一定的偏移。换句话说,护栏本身可能并不准确存在于其位置1014处。到道路1016的链接可以解释这一点。在一些实现中,到道路106的链接可以具有高度或海拔方面。例如,两个对象可能具有相似的坐标但对应于不同的道路。高度或海拔可用于区分两个对象。雷达硬件信息1018可以包括影响来自相应HD地图对象1008的雷达反射108的任何信息。

[0072] 在1022处接收未对准的雷达检测1020以及对象属性1004。未对准的雷达检测1020类似于具有低准确度位置数据的雷达检测304。对象属性1004用于确定交通工具104在未对准的雷达检测1020的相应时间处的交通工具姿态1024。

[0073] 为了这样做,对于每组未对准雷达检测1020,交通工具可以相对于HD地图对象1008中的一个或多个定位自身。例如,相应的一组未对准雷达检测1020可以包含一个或多个HD地图对象1008的检测。由于一个或多个HD地图对象1008的位置1014(和其他对象属性1004)是已知的,因此雷达定位模块210可以确定在相应的一组未对准雷达检测1020处的交通工具姿态1024。

[0074] 一旦交通工具姿态1024对于相应的未对准雷达检测1020是已知的,未对准雷达检测1020就可在1026处被对准。对准可以包括基于相应的交通工具姿态1024移位或旋转未对准的雷达检测1020。

[0075] 经对准的雷达检测成为雷达检测304。随后可以在示例图示300、400和500中使用雷达检测304以生成雷达参考地图316。

[0076] 雷达参考地图316可以可选地发送给云系统202。在那里,在1028处,可以根据基于交通工具或其他交通工具的其他类似运行的其他雷达参考地图来更新雷达参考地图316,或者雷达参考地图316与所述其他雷达参考地图一起编译。

[0077] 通过使用示例图示1000的技术,可以在不使用高准确度位置数据的情况下(例如,通过使用消费者交通工具)生成准确的雷达参考地图。因此,在更广泛的位置中生成雷达参考地图更容易/更可行。

[0078] 图11是使用低准确度位置数据和HD地图1002生成雷达参考地图316的方法的示例图示1100。示例图示1100可以利用先前描述的示例来实现,诸如示例图示1000。操作1102到1110通常由系统102执行。示出和/或描述操作的顺序不旨在解释为限制,并且可以以任何顺序组合操作的任何数量或组合以实现图示的方法或者替代方法。

[0079] 在1102处,接收未对准的雷达检测。例如,雷达定位模块210可以接收未对准的雷达检测1020。

[0080] 在1104处,确定HD地图对象属性。例如,雷达定位模块210可以确定HD地图1002的HD地图对象1008的对象属性1004。

[0081] 在1106处,为每组未对准的雷达检测确定交通工具姿态。例如,雷达定位模块210可以基于未对准的雷达检测1020和对象属性1004来确定交通工具姿态1024。

[0082] 在1108处,使未对准的雷达检测对准。例如,雷达定位模块210可以使用交通工具姿态1024来移位未对准的雷达检测1020。经对准的雷达检测基本上成为雷达检测304。

[0083] 在1110处,生成雷达参考地图。例如,雷达定位模块210可以执行示例图示300、400和500以从经对准的雷达检测(雷达检测304)生成雷达参考地图316。

[0084] 可选地,在1112处,可以将雷达参考地图传输到云系统进行更新。更新可以基于由交通工具或另一交通工具生成的类似参考地图。例如,云系统202的雷达定位模块210可以基于从交通工具或其他交通工具接收的其他类似雷达参考地图,来修改或更新雷达参考地图316。

[0085] 图12是使用低准确度位置数据和HD地图1002(未示出)生成雷达参考地图316的示例图示1200。示例图示1200通常由云系统202基于从系统102接收的信息来执行。

[0086] 在系统102处,未对准的雷达检测1020运行示例图示300、400和500,以生成未对准的雷达参考地图1202。未对准的雷达参考地图1202可以类似于雷达参考地图316,除了高斯分布318可能不在正确的位置(由于低准确度位置数据)之外。

[0087] 在一些实现中,可以仅执行示例图示400的一部分。例如,可以执行直到步骤410的步骤来为相应的未对准雷达检测1020组形成单独的占用网格,因为低准确度位置数据可能自身不适合与其他数据融合以形成单个雷达占用网格(例如,雷达占用网格308)。每个未对准的雷达占用网格随后可用于形成未对准的雷达参考地图1202。

[0088] 未对准的雷达参考地图1202(例如,具有与高斯分布318相似的未对准的高斯分布)随后被发送给云系统202。在1204处,云系统202使用HD地图1002的对象属性1004来使未对准的雷达参考地图1202对准,以生成雷达参考地图316。

[0089] 为了这样做,类似于示例图示1000,对象属性1004可用于对准或改变未对准的雷达参考地图1202内的高斯分布318。例如,对象属性1004可用于确定未对准的雷达参考地图1202内的与对应的HD地图对象1008相对应的高斯分布318。由于这些对象的位置是已知的,

因此高斯分布318可以被移位到正确的位置。

[0090] 如果未对准的雷达检测1020在空间中是连续的(例如,它们递增地遵循路径),则未对准的雷达参考地图1202可以具有高斯分布318相对于彼此的准确位置。在这种情况下,未对准的雷达参考地图1202可能只需要被全局地移位或旋转(而不是必须使每个高斯分布318对准)。

[0091] 未对准的雷达检测1020也可以被发送给云系统202,以类似于示例图示1000的方式进行处理。然而,未对准的雷达参考地图1202要小得多,并因此更容易传输。

[0092] 通过使用示例图示1200的技术,可以在不使用高准确度位置数据的情况下(例如,通过使用消费者交通工具)生成准确的雷达参考地图。因此,在更广泛的位置中生成雷达参考地图更容易/更可行。

[0093] 图13是使用低准确度位置数据和HD地图1002生成雷达参考地图316的方法的示例图示1300。示例图示1300可以利用先前描述的示例来实现,诸如示例图示1200。操作1302到1306通常由云系统202执行。示出和/或描述操作的顺序不旨在解释为限制,并且可以以任何顺序组合操作的任何数量或组合以实现图示的方法或者替代方法。

[0094] 在1302处,接收未对准的雷达参考地图。例如,雷达定位模块210可以从系统102接收未对准的雷达参考地图1202。

[0095] 在1304处,确定HD地图对象属性。例如,雷达定位模块210可以确定HD地图1002的HD地图对象1008的对象属性1004。

[0096] 在1306处,基于HD地图对象属性来对准未对准的雷达参考地图。例如,雷达定位模块210可以使用对象属性1004来确定未对准的雷达参考地图1202内对应于相关联的HD地图对象1008的高斯分布。随后可以使用对应高斯分布与HD地图对象1008的位置之间的差异来校正、调整、移位或以其他方式校正未对准的雷达参考地图1202,以形成雷达参考地图316。

[0097] 图14是使用HD地图1002生成雷达占用网格308的示例图示1400。示例图示1400可以与示例图示300和500集成以生成雷达参考地图316。示例图示1400不需要雷达(例如,雷达反射108、雷达检测304)来创建雷达占用网格308。然而,将显而易见的是,示例图示1400确实依赖于HD地图1002中的HD地图对象1008的可用性。

[0098] 类似于示例图示1000和1200,确定HD地图对象1008的对象属性1004。对象属性1004用于在1402处确定形状1404。形状1404是HD地图对象1008相对于雷达占用网格308的几何表示。形状1404可以是直线、折线、多边形、几何形状、曲线、复杂曲线、或统计表示。例如,护栏的位置、取向、和细节(例如,偏移)可用于生成与护栏相对应的雷达占用网格308中的被占用空间的形状1404。

[0099] 在1406处,将相应形状1404的尺寸与雷达占用网格308的网格尺寸进行比较。如果形状1406不长于雷达占用网格308的网格单元,则对应的网格单元被标记为被占用。

[0100] 然而,如果形状1406比网格单元更长,则在1408处对形状1406进行过采样(oversample)以创建过采样的形状1410。过采样包括沿相应形状1404添加更多点,以模拟来自雷达检测(例如,来自雷达检测304)的雷达占用网格输出。

[0101] 随后在1412处基于对象属性1004或一些其他信息调整(例如,转换)形状1404或过采样的形状1410,以形成经调整的形状1414。继续上面的护栏示例,系统可能知道某种类型的护栏离道路边缘总是比对象属性1004内所包含的位置离道路边缘更远一些。经调整的形

状1414用于将雷达占用网格308的对应网格单元标记为被占用。

[0102] 在一些实现中,形状1404或过采样的形状1410可用于确定雷达参考地图316而不是雷达占用网格308。换言之,高斯分布318可以基于形状1404或过采样的形状1400生成,而无需首先生成雷达占用网格308。

[0103] 如示例雷达占用网格308中所示,HD地图对象1008(例如,护栏)被表示为被占用空间。以这种方式,可以生成雷达占用网格308而无需交通工具驾驶通过对应区域。

[0104] 图15是使用HD地图1002和机器学习模型生成雷达占用网格308的示例图示1500。示例图示1500可以与示例图示1400集成(例如,以确定用于在1412处进行调整的转换)。然而,在一些实现中,机器学习模型可用于直接指示雷达占用网格308的单元(例如,无需示例图示1400)。

[0105] 在示例图示1500中,对象属性1004用于选择和应用用于在1412处调整形状1502。模型1502基于相应的对象属性1004。

[0106] 在1504处,选择模型1502并将模型1502应用于每个HD地图对象1008。模型1502通过相应的对象属性1004而被分类。例如,对于每种类型的HD地图对象1008可以存在模型1502(例如,护栏的模型1502-1、标志的模型1502-2、建筑物的模型1502-3等)。对于单个类型的对象,也可以存在多个模型1502。例如,不同类型的护栏可具有不同的相应模型1502。

[0107] 模型1502是先前生成的并且可以使用对真实世界的占用网格数据的机器学习来教导模型1502。例如,占用数据(例如,由示例图示300和400确定的各部分)可以连同对象属性1004和对应的HD地图对象1008的HD地图位置一起馈送到模型训练程序中。这样做时,系统能够形成“学习”如何在雷达占用网格308中表示对应的HD地图对象1008(例如,通过形状调整)的规则和依赖关系。

[0108] 相应模型1502的输出是与形状调整数据相对应的占用网格数据1506。随后可以使用形状调整数据来调整示例图示1400的形状1404。

[0109] 在一些实现中,占用网格数据1506可以包括直接的占用网格数据。在这样的情况下,不使用形状,并且占用网格数据1506用作给雷达占用网格308的直接输入(例如,占用网格数据1506可用于将雷达占用网格308的单元指示为被占用)。

[0110] 如以上讨论的,随后可以使用雷达占用网格308来生成雷达参考地图316。以此方式,真实世界的雷达占用数据可用于估计用于在雷达占用网格308中表示的HD地图对象608的调整或占用。

[0111] 通过使用示例图示1400和1500的技术,可以在不使用对应区域的雷达检测(尽管在一些实现中,它们可以用于更新地图和/或提供附加地图数据)的情况下生成准确的雷达参考地图。因此,针对更广泛的位置生成雷达参考地图更容易/更可行。此外,只要HD地图具有足够的对象,地图就可以完全离线生成。

[0112] 图16是使用HD地图1002生成雷达占用网格308的方法的示例图示1600。示例图示1600可以利用先前描述的示例来实现,诸如示例图示1400和1500。操作1602到1608通常由云系统202执行,因为不需要交通工具104。然而,操作1602到1608(或其部分)可由系统102执行。示出和/或描述操作的顺序不旨在解释为限制,并且可以以任何顺序组合操作的数量或组合以实现图示的方法或者替代方法。

[0113] 在1602处,为HD地图内的HD地图对象确定HD地图对象属性。例如,雷达定位模块

210可以确定HD地图1002的HD地图对象1008的对象属性1004。

[0114] 在1604处,确定HD地图对象的形状。在一些实现中,形状可以基于相应形状的尺寸和期望的雷达占用网格的网格尺寸被过采样。例如,雷达定位模块210可以确定HD地图对象1008的形状1404,并且如果形状1404长于雷达占用网格308的网格尺寸,则对形状1404进行过采样。

[0115] 在1606处,根据需要对形状应用调整。调整可以基于HD地图对象属性或用于相应HD地图对象的机器学习模型。例如,雷达定位模块210可以基于对象属性1004或模型1502来调整形状1404。

[0116] 在1608处,基于形状来将雷达占用网格的单元指示为被占用。例如,雷达定位模块210可以基于形状1404(在根据1406和1412过采样和调整之后)来指示雷达占用网格308的单元。

[0117] 通过执行上述技术中的一种或多种,可以生成准确且空间高效的雷达参考地图。以这种方式,可以实现准确定位以支持驾驶员辅助或具有有限驾驶员接管的自动驾驶能力。更少的驾驶员接管可提高安全性和驾驶员满意度。

更新雷达参考地图

[0118] 以下部分描述了用于更新雷达参考地图的技术。需要不断改进雷达参考地图,因为交通工具行驶的任何特定环境都会随着时间而改变。雷达参考地图可以包括可以不被视为属性的临时障碍物,这些临时障碍物可能会被添加或移除。附加地,雷达参考地图可能包括错误的属性数据或丢失的属性(例如,雷达参考地图中的遮挡)。用于更新雷达参考地图的当前技术通常使用不同的传感器在对环境的单次遍历中收集属性数据。下面描述的技术使用从遍历环境的多次迭代中收集的以雷达为中心的数据来更新雷达参考地图的质量。这些技术使用过程来确保准确且稳定的数据(称为事后观察(hindsight));示出了出该技术中的两个非限制性示例。一个示例使用对象的雷达检测并将它们与HD地图进行比较。第二示例仅使用雷达检测,其中使用事后观察作为确保数据准确且稳定的方式。

[0119] 图17示出了用于通过多次迭代更新用于基于雷达检测的交通工具定位的雷达参考地图的流程图1700。流程图包括多个运行1702(例如,运行1到运行n,其中n可以是大于1的任何整数),其中每次运行是通过由雷达参考地图表示的环境的迭代。雷达定位模块(例如,来自图2-1的雷达定位模块210)的第一步1704是接收雷达检测和导航数据。在步骤1706中,静态对象标识器可以使用雷达检测和导航数据来从步骤1704中收集的原始雷达检测和导航数据中标识静态对象。步骤1708基于在步骤1706中标识的静态对象生成占用网格。在步骤1710中,根据在每次运行1702中生成的每个占用网格构建雷达参考地图。最后的步骤1712基于在步骤1710中生成的雷达参考地图构建(在初始运行1中)和更新(在每个相继的运行n中)相对的NDT雷达参考地图(例如,相对于交通工具并使用相对坐标系的地图)。最后的步骤1710以在步骤1710中未使用的HD地图1714与在步骤1708中生成的占用网格相结合为条件。否则,如果在步骤1710中使用了HD地图1714,则最后的步骤1712在每次运行1702期间更新绝对地图(例如,使用诸如UTM坐标系之类的全局坐标系的通用地图)。

[0120] 图18示出了通过多次迭代更新用于基于雷达检测的交通工具定位的雷达参考地图的示例图示1800。在示例实现1800中,配备有雷达定位模块(例如,机载、通过云访问)的交通工具1802使用事后观察来积累关于动态对象1804的准确且稳定的雷达数据。交通工具

1802上的雷达传感器具有雷达扫描1806,该雷达扫描1806发射电磁能并接收来自对象的电磁能的反射。雷达扫描1806可能未在图18中或在描绘它们的任何其他图中按比例示出。动态对象1804正在从交通工具1802的前面(动态对象1804-1)移动到交通工具1802的旁边(动态对象1804-2)到交通工具1802的后面(动态对象1804-3)。盲点1808表示交通工具1802上的一个或多个雷达传感器的距离变化率盲点。尽管在示例实现1800中,盲点1808与动态对象的距离变化率状态有关,但动态对象1804的任何动态状态都可以用作示例。

[0121] 安装在交通工具1802上的角部雷达传感器被配置为使得雷达传感器的孔径角相对于交通工具1802的纵轴为 45° 。这使得角部雷达传感器能够具有与交通工具1802的前后雷达传感器相同的雷达性能。来自所有雷达传感器的累积数据呈现交通工具1802后部处的对象检测的最稳定结果,其中动态对象1804反射来自不同雷达传感器的若干雷达检测。由于占用网格呈现了累积的数据,因此所有可用的传感器检测都有助于雷达参考地图,即使后方检测是唯一被纳入考虑的。来自所有雷达传感器的检测对占用概率有贡献,并且没有任何雷达数据被省略。该过程可以被解释为对占用网格的每个单元应用二进制权重,并且可以从经更新的雷达参考地图中排除动态对象1804。

[0122] 图19示出了用于通过多次迭代更新用于基于雷达检测的交通工具定位的雷达参考地图的流水线1900。在流水线1900的雷达传感器阶段1902,雷达传感器1904接收原始雷达检测1906。在静态对象标识器1908阶段,原始雷达检测1904在1910处被分类为静态或动态雷达检测,并且增强的静态雷达检测1912被传递到占用网格生成器1914阶段。在占用网格生成器1914阶段,在1916处从增强静态雷达检测1912中提取占用证据。在1918处,来自1916的提取的占用证据用于在占用网格1920上累积和过滤静态占用。累积器1922阶段随后在1924处提取事后观察信息。

[0123] 图20-1至图20-3示出了用于通过多次迭代更新用于基于雷达检测的交通工具定位的雷达参考地图的事后观察的示例实现。在图20-1中,配备有雷达定位模块(例如,机载、通过云访问)的交通工具2002使用事后观察来积累关于静态对象2004(街道标志2004)的准确且稳定的雷达数据。在图20中的第一时间帧2000-1中,可以首先由雷达扫描2006-1和2006-2来检测街道标志2004。雷达扫描2006-3和2006-4尚未检测到街道标志2004。

[0124] 在图20-2中的第二时间帧2000-2中,交通工具2002已经沿着道路移动,并且街道标志2004位于交通工具2002的侧面。至少雷达扫描2006-1、2006-2和可能的雷达扫描2006-3已经检测到了街道标志2004。附加地,雷达扫描2006-1和2006-2可能已经检测到第二静态对象2008(树2008)。

[0125] 在图20-3中的第三时间帧2000-3中,交通工具2002已经向前移动,使得街道标志2004已经被雷达扫描2006-1、2006-2、2006-3和2006-4累积地检测到。此时,街道标志在雷达扫描的事后观察中,并且相对于街道标志的雷达数据可以以高置信度被认为是稳定且准确的。至少雷达扫描2006-1、2006-2和可能的雷达扫描2006-3在时间帧2000-3中检测到树并且具有中等置信度,但高于第三静态对象2010(护栏2010)。只有扫描2006-1和2006-2可能检测到护栏2010。

[0126] 在通过多次迭代的描绘2000-1至2000-3中在道路上驾驶可以增加静态对象2004、2008和2010是永久的并且可以被认为是属性的置信水平。如果静态对象2004、2008和2010中的任何一个在沿道路运行的多次迭代中的任何一个期间消失,则该对象的置信水平可能

会下降,并且该对象可能会从更新的雷达参考地图中移除。此外,考虑沿另一方向行驶的移动交通工具(例如,在与交通工具2002相邻的车道中)。传统技术可以在移动交通工具与交通工具2002紧邻时考虑该移动交通工具。通过使用事后观察,将不考虑该移动交通工具。以此方式,可在每次迭代之后更新雷达参考地图以在属性被检测到或消失时添加或移除该属性,并移除可能存在于雷达参考地图中的任何虚假噪声。

[0127] 图21示出了用于在通过多次迭代更新用于基于雷达检测的交通工具定位的雷达参考地图时确定并使用雷达坐标的事后观察最大边界的示例过程2100。雷达坐标有两个选项,雷达相对坐标和雷达绝对坐标。在2102处,加载所有雷达参考地图。附加地,如果使用雷达绝对坐标,则在2104处,从一个或多个HD地图中提取样本点,并在2106处,将提取的样本点转换为统计分布。在2108处,收集所有事后观察样本,并找到坐标(X和Y)的最小值和最大值。在2110处,坐标的最小值和最大值用于创建新雷达组的最大边界。在2112处,选择分辨率,并检查在坐标索引分辨率中的样本的索引。在2114处,基于在2112处的检查过程的结果,如果样本在所选分辨率中不是新的,则在2116处,仅对数几率比(通过贝叶斯逆模型或通过最大策略)被合并到雷达参考地图。如果在2114处,样本在所选分辨率下是新的,则在2118处,新样本的原始索引被添加到新的地图索引中。

示例架构

[0128] 应用本文档中讨论的技术来基于雷达检测定位交通工具可具有许多优势。通过使用以雷达为中心的系统(例如,雷达系统包括四个短程雷达传感器,每个雷达传感器位于交通工具的四个角中的每个角处),可能会降低其他系统(例如、相机、LiDAR)的有效性的不利天气和照明条件仅通过使用雷达系统就可以克服。附加地,所使用的雷达系统可比一些其他传感器系统更便宜。

[0129] 本文档中描述的技术和系统使交通工具能够以亚米级准确度水平确定其交通工具姿态或位置。为了基于雷达检测定位交通工具,根据本文所述的技术,可以执行两个步骤,包括以下步骤:构建准确的雷达参考地图,并将雷达参考地图与实时生成的雷达检测进行比较,以准确定位交通工具。图22-1和图22-2描述了如何使用雷达定位模块(诸如图2-2和图2-3中所示的雷达定位模块)实现这两个步骤的一个详细示例。其他示例可能会排除图22-1和图22-2中的一些细节(例如,雷达定位模块的一些子模块是可选的,如图2-2和2-3所示)。

[0130] 图22-1至图22-2示出了用于基于雷达检测的交通工具定位的过程的示例流程图2200。图22-1将第一步覆盖为流程图2200-1,并且图22-2将第二步覆盖为流程图2200-2。图22-1和图22-2的虚线框2202内的子步骤在每一步中是相同的。

[0131] 交通工具定位2204的第一步是构建包含属性信息的准确雷达参考地图。上面已经描述了构建雷达参考地图的若干个不同过程的细节。图22-1中所示的示例流程图详细说明了在专门配备有高质量导航系统的交通工具2204-1中构建雷达参考地图的架构。雷达定位模块在此步骤中处于参考模式。

[0132] 在图22-1所示的示例流程图中,一个或多个雷达传感器2206接收原始雷达检测2208。同时,交通工具状态估计器2214收集高质量GNSS 2210-1和惯性测量单元(IMU) 2212-1数据,以确定交通工具状态和交通工具姿态。以特定速率,例如每50毫秒(ms),收集原始雷达检测2208。原始雷达检测2208被静态对象标识器2216标识为静态检测或动态检测。静态

对象标识器2216使用由交通工具状态估计器2214提供的交通工具状态信息(例如,距离变化率)来确定(例如,通过距离变化率去混叠来确定)对原始雷达检测2208的标识。

[0133] 静态检测被输出给占用网格生成器2218。占用网格生成器2218估计占用网格中每个单元(例如,20厘米(cm)乘20cm的单元)的占用概率。单元尺寸可影响此子步骤的处理时间。可以使用不同的过程(包括贝叶斯推理、登普斯特沙弗(Dempster Shafer)理论或其他过程)来估计每个单元的占用概率。由占用网格生成器2218生成的占用网格可以与交通工具2204-1处于相对坐标(例如,本地参考系)中,因为占用网格生成器2218从交通工具状态估计器2214接收辅助创建占用网格的交通工具状态数据。

[0134] 扫描匹配器2220执行一系列子步骤2220-1到2220-4。子步骤2220-1将占用网格从相对坐标系转换为UTM坐标系。在转换过程中使用来自交通工具状态估计器2214的交通工具状态信息。子步骤2220-2以特定速率(例如,10Hz)累积来自子步骤2220-1的占用网格输出。可以基于驾驶场景(例如,交通工具2204-1的环境中的属性的数量)调整该速率并将累积的占用网格输出到子步骤2220-3。子步骤2220-3基于高占用概率(例如,等于或大于0.7的概率)选择占用网格单元。所选择的占用网格单元可以被表示为点云。子步骤2220-4以高斯表示来转换所选择的占用网格单元,以创建高斯分布或NDT雷达参考地图。NDT雷达参考地图可以本地存储在交通工具2204-1上或上传到云2222。

[0135] 交通工具定位2204的第二步是基于属性的雷达检测与雷达参考地图的比较来确定经调整的交通工具姿态。图22-2中的示例流程图详述了用于确定交通工具2204-2的经调整的交通工具姿态的架构。在该示例中可以假设交通工具2204-2被配置为大量地并且以使得使用高质量GNSS和传感器包不切实际的成本盈余进行制造的非豪华交通工具。也就是说,在交通工具2204-2中使用的GNSS系统2210-2和IMU 2212-2可以被认为是一般的(较低质量的)商业导航系统。雷达定位模块在第二步处于实时定位模式。虚线框2202内的所有子步骤与图22-1所示的第一步的那些子步骤相同,并且为简单起见,这些子步骤不再赘述。

[0136] 在步骤2224处,基于由交通工具状态估计器2214确定的交通工具状态的雷达参考地图从云2222被下载。在子步骤2220-5处,将雷达参考地图与所选择的占用网格单元进行比较,并且基于该比较,针对交通工具2204-2校正交通工具姿态。经校正的姿态的准确度的置信水平可用于确定经校正的姿态的准确度。附加地,经校正的交通工具姿态可用于移除GNSS系统2210-2和IMU 2212-2中的误差(例如,漂移)。

[0137] 比较过程匹配雷达参考地图,雷达参考地图是一组高斯表示,该高斯表示可利用源自实时雷达检测的实时“地图”来最小化数据的存储大小并包含统计信息。实时地图是雷达参考地图所表示的区域的一个子部分,并且包含与雷达参考地图相同的高斯型统计信息。在另一实现中,来自占用网格的经过滤输出可以直接与雷达参考地图中的高斯分布进行比较。

[0138] NDT过程匹配参考数据(例如,具有内置统计模型的离散单元)之间的统计概率分布。对于实时点(例如,占用网格输出)的任何给定转换(例如,x、y和旋转),可以将实时点分配给离散NDT单元,该离散NDT单元包含来自雷达参考地图的模型中的统计分布。实时点是被认为已被占用但被视为具有附加到点的概率值的点的占用网格单元。因此可以计算实时点的概率分布。NDT过程找到使概率分布最大化的最佳转换。

[0139] 图23示出了用于基于雷达检测的交通工具定位的示例过程2300。在2302处,交通

工具的至少一个或多个处理器接收雷达检测。在2304处,交通工具的至少一个或多个处理器接收导航数据。在2306处,交通工具的至少一个或多个处理器输出与交通工具的当前动态状态有关的自我轨迹信息。该自我轨迹信息可以包括如从雷达检测和导航数据确定的行驶方向、速度、距离变化率和偏航速率中的至少一个。在2308处,从雷达检测和自我轨迹信息提取属性数据。在2310处,从提取的属性数据和雷达参考地图确定正态分布转换网格。在2312处,根据正态分布转换网格校正交通工具姿态以定位交通工具。

[0140] 以此方式,本文描述的技术和系统使用具有成本效益的系统、忽略动态对象、最大化统计分布模式、并有效地处理静态噪声,以准确地调整交通工具的姿态。

示例

[0141] 示例1:一种方法,包括:通过处理器接收雷达占用网格,该雷达占用网格包括雷达占用网格中的相应占用单元的占用概率和占用网格属性;基于占用概率和占用网格属性确定雷达属性;形成雷达参考地图单元;针对包含多个雷达属性的每个雷达参考地图单元,确定雷达参考地图单元的高斯分布,该高斯分布包括雷达参考地图单元内的雷达属性的均值和协方差;以及生成雷达参考地图,该雷达参考地图包括雷达参考地图单元和为包含多个雷达属性的雷达参考地图单元确定的高斯分布。

[0142] 示例2:示例1的方法,其中占用单元小于雷达参考地图单元。

[0143] 示例3:示例1或2的方法,进一步包括,针对不包含多个雷达属性的每个雷达参考地图单元,将雷达参考地图单元指示为未被占用。

[0144] 示例4:示例1、2或3的方法,其中雷达属性是占用单元中的一个或多个占用单元的相应组或集群的中心坐标。

[0145] 示例5:任一在前示例的方法,其中组是基于组内的占用单元的相应占用概率高于阈值来确定的。

[0146] 示例6:任一在前示例的方法,其中组是基于雷达占用网格的轮廓来确定的。

[0147] 示例7:任一在前示例的方法,其中组是基于雷达占用网格的边界框来确定的。

[0148] 示例8:任一在前示例的方法,其中雷达属性包括基于占用概率、对象分类或雷达横截面值中的一个或多个的相应权重。

[0149] 示例9:任一在前示例的方法,其中每个雷达参考地图单元将雷达属性建模为正态分布。

[0150] 示例10:任一在前示例的方法,其中均值和协方差是基于形成雷达参考地图单元内的雷达属性的占用单元的占用概率的。

[0151] 示例11:如任一在前示例的方法,进一步包括:确定协方差的最小特征值不是协方差的最大特征值的至少预定义倍数;以及操纵协方差使得协方差的最小特征值是最大特征值的至少预定义倍数。

[0152] 示例12:如任一在前示例的方法,进一步包括基于以下各项中的一项或多项来确定雷达占用网格:具有低准确度位置数据的多个交通工具运行;高清晰度地图;高准确度位置数据;或占用单元中的每一个占用单元的多个占用概率的融合。

[0153] 示例13:一种系统,包括:至少一个处理器;以及至少一个计算机可读存储介质,所述至少一个计算机可读存储介质包括指令,所述指令在被处理器执行时使所述系统:接收雷达占用网格,该雷达占用网格包括雷达占用网格中的相应占用单元的占用概率或其他信

息;基于占用概率或其他信息确定雷达属性;形成雷达参考地图单元;针对包含多个雷达属性的每个雷达参考地图单元,确定雷达参考地图单元的高斯分布,该高斯分布包括雷达参考地图单元内的雷达属性的均值和协方差;并且生成雷达参考地图,该雷达参考地图包括雷达参考地图单元和为包含多个雷达属性的雷达参考地图单元确定的高斯分布。

[0154] 示例14:示例13的系统,其中其他信息包括以下各项中的一项或多项:雷达横截面、幅度、来自其他传感器的对象分类、或机器学习信息。

[0155] 示例15:示例13或14的系统,其中雷达属性的确定包括:对雷达占用网格应用聚类算法。

[0156] 示例16:示例13、14或15中任一项的系统,其中雷达属性是占用单元中的一个或多个占用单元的相应集群的中心坐标。

[0157] 示例17:示例13-16中任一项的系统,其中:该指令进一步使系统确定雷达占用网格的占用单元中的哪些占用单元具有高于阈值的占用概率;并且雷达属性包括占用概率高于阈值的占用单元的相应组。

[0158] 示例18:示例13-17中任一项的系统,其中,雷达属性是占用概率高于阈值的占用单元的相应组的中心坐标。

[0159] 示例19:示例13-18中任一项的系统,其中所述指令还使所述系统:针对不包含多个雷达属性的每个雷达参考地图单元,将所述雷达参考地图单元指示为未被占用。

[0160] 示例20:示例13-19中任一项的系统,其中高斯分布的确定包括将雷达属性建模为正态分布。

[0161] 示例21:一种方法,包括:通过处理器接收雷达参考地图单元,每个雷达参考地图单元包括:具有雷达参考地图单元内的雷达属性的均值和协方差的高斯分布;以及与雷达参考地图单元相关联的元数据,元数据包括位置数据;确定包括HD地图对象的对象属性的HD地图;基于以下各项中的一项或多项来对准雷达参考地图的高斯分布:HD地图对象的对象属性;或元数据;并且输出经对准的高斯分布以供交通工具的系统用于驾驶。

[0162] 示例22:示例21的方法,其中元数据包括:与雷达参考地图单元相关联的对象的指示或分类。

[0163] 示例23:示例21或22的方法,其中元数据可用于确定与雷达参考地图单元相关联的对象的形状或尺寸。

[0164] 示例24:示例21、22或23的方法,其中位置数据是低质量位置数据。

[0165] 示例25:示例21-24中任一项的方法,其中位置数据是经后处理的低质量位置数据。

[0166] 示例26:示例21-25中任一项的方法,其中所述对准包括校正位置数据。

[0167] 示例27:一种系统,包括:至少一个处理器;以及至少一个计算机可读存储介质,所述至少一个计算机可读存储介质包括指令,所述指令当由处理器执行时,使系统执行示例1-12和21-26的方法中的任一个。

[0168] 示例28:一种系统,包括:用于执行示例1-12和21-26的方法中的任一个的装置。

结语

[0169] 尽管已经用特定于特征和/或方法的语言描述了雷达参考地图生成的各种实现,但是所附权利要求的主题不必限于所描述的特定特征或方法。相反,特定特征和方法被公

开为雷达参考地图生成的示例实现。进一步地,尽管上文中已描述各种示例,其中每个示例具有某些特征,但应理解,一个示例的特定特征不必唯一地与此示例一起使用。取而代之,除了这些示例的其他特征中的任何其他特征以外或代替这些示例的其他特征中的任何其他特征,上文描述和/或附图中所描绘的特征中的任何特征可以与示例中的任何示例相组合。

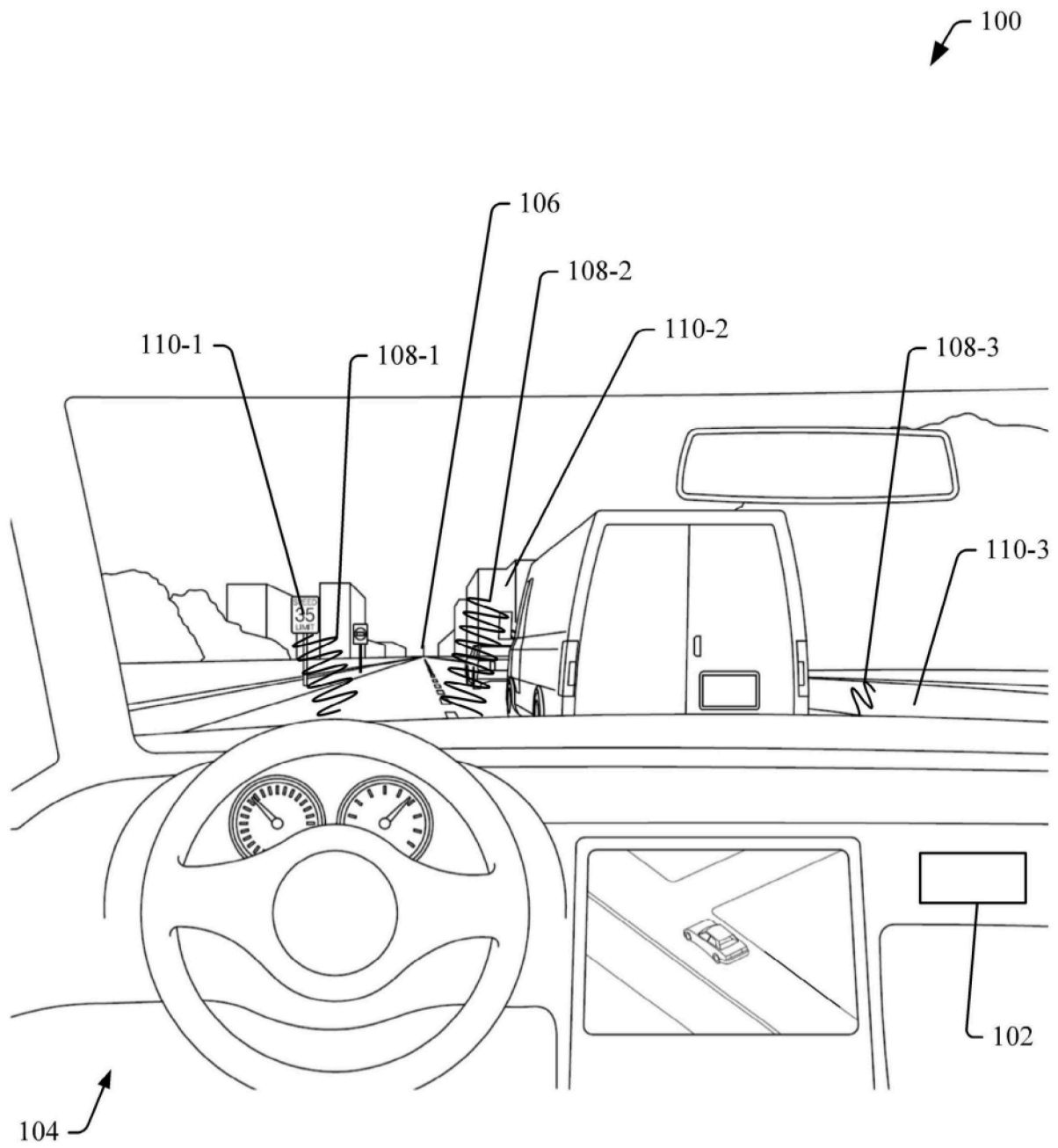


图1

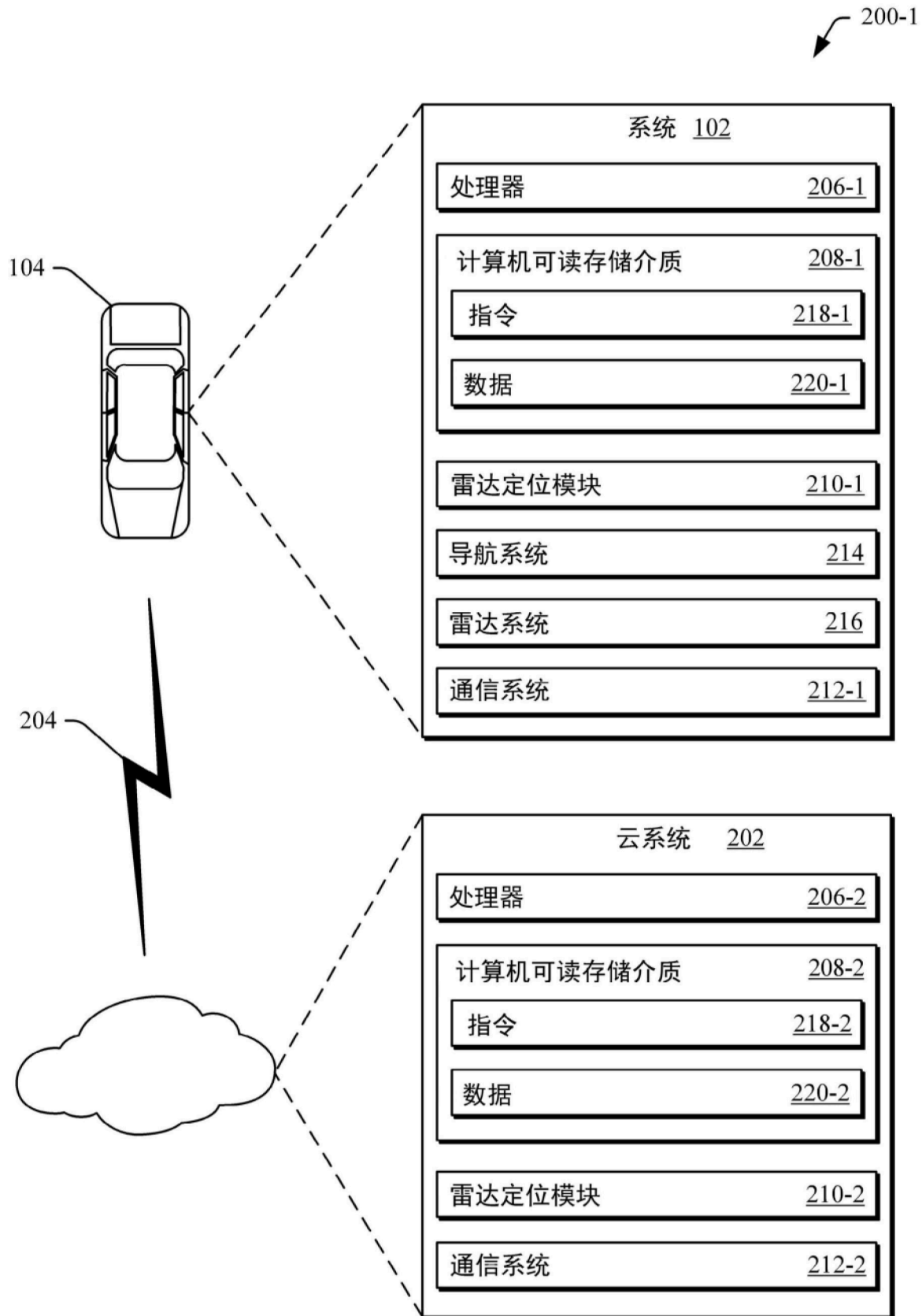


图2-1

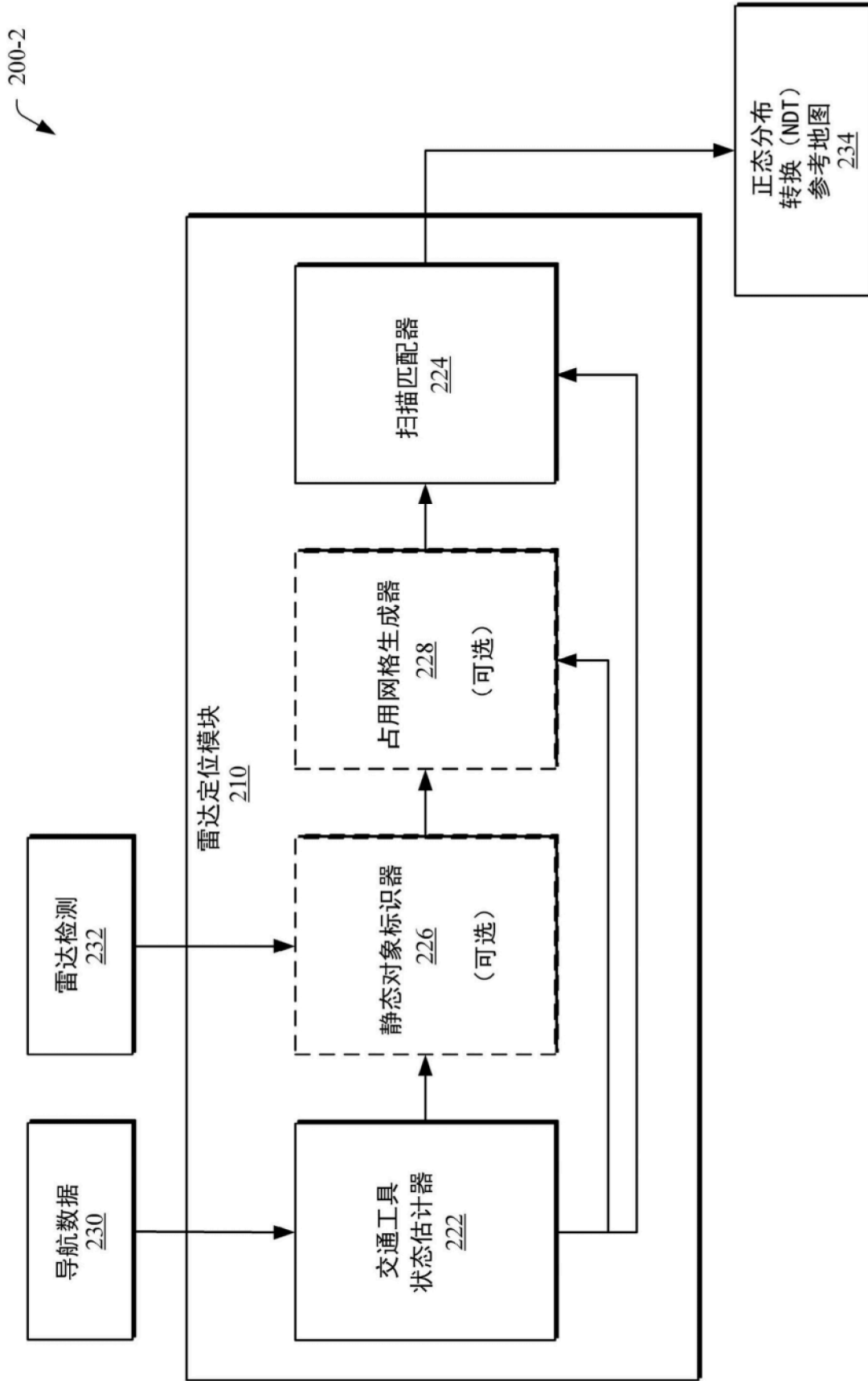


图2-2

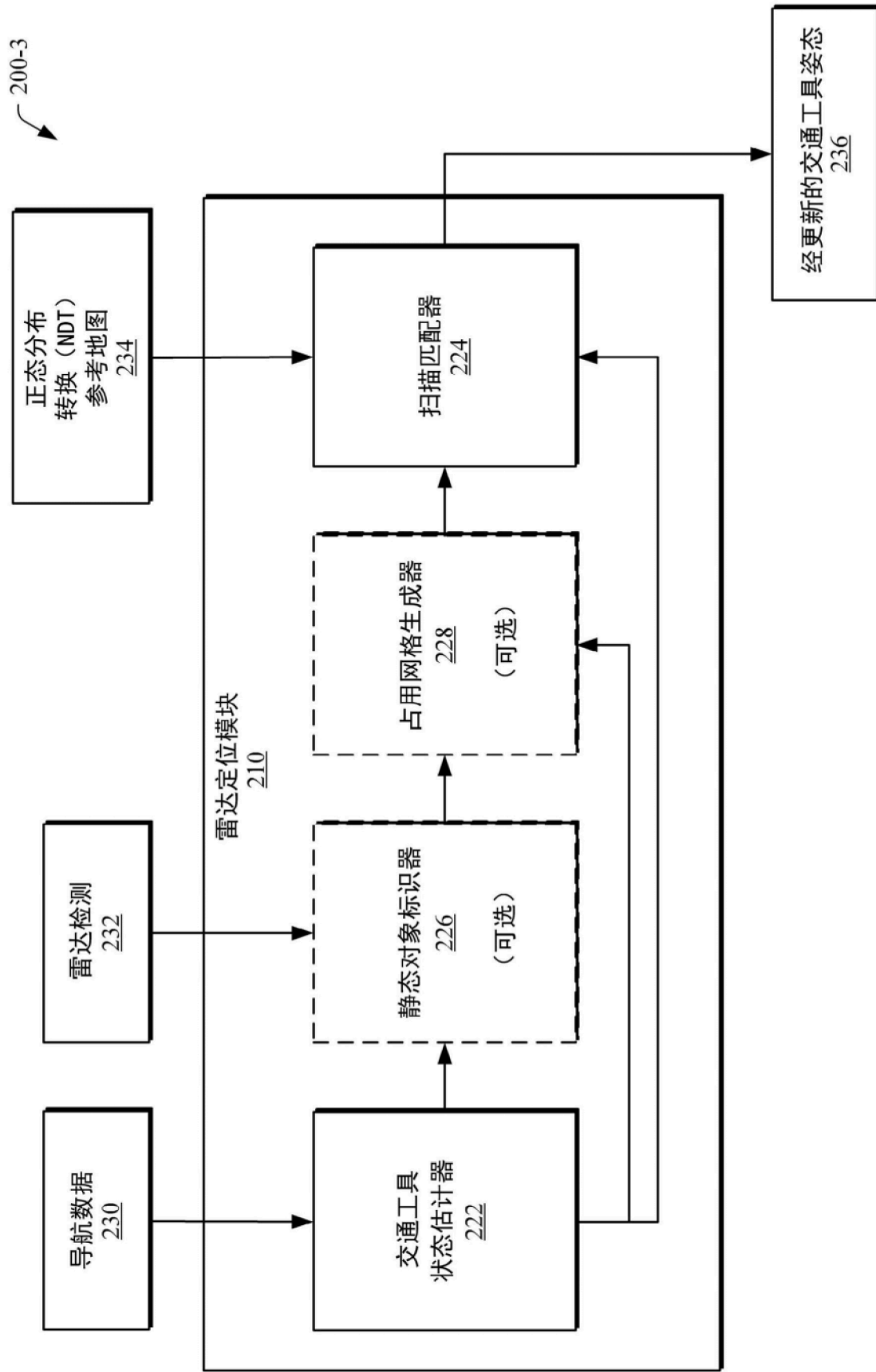


图2-3

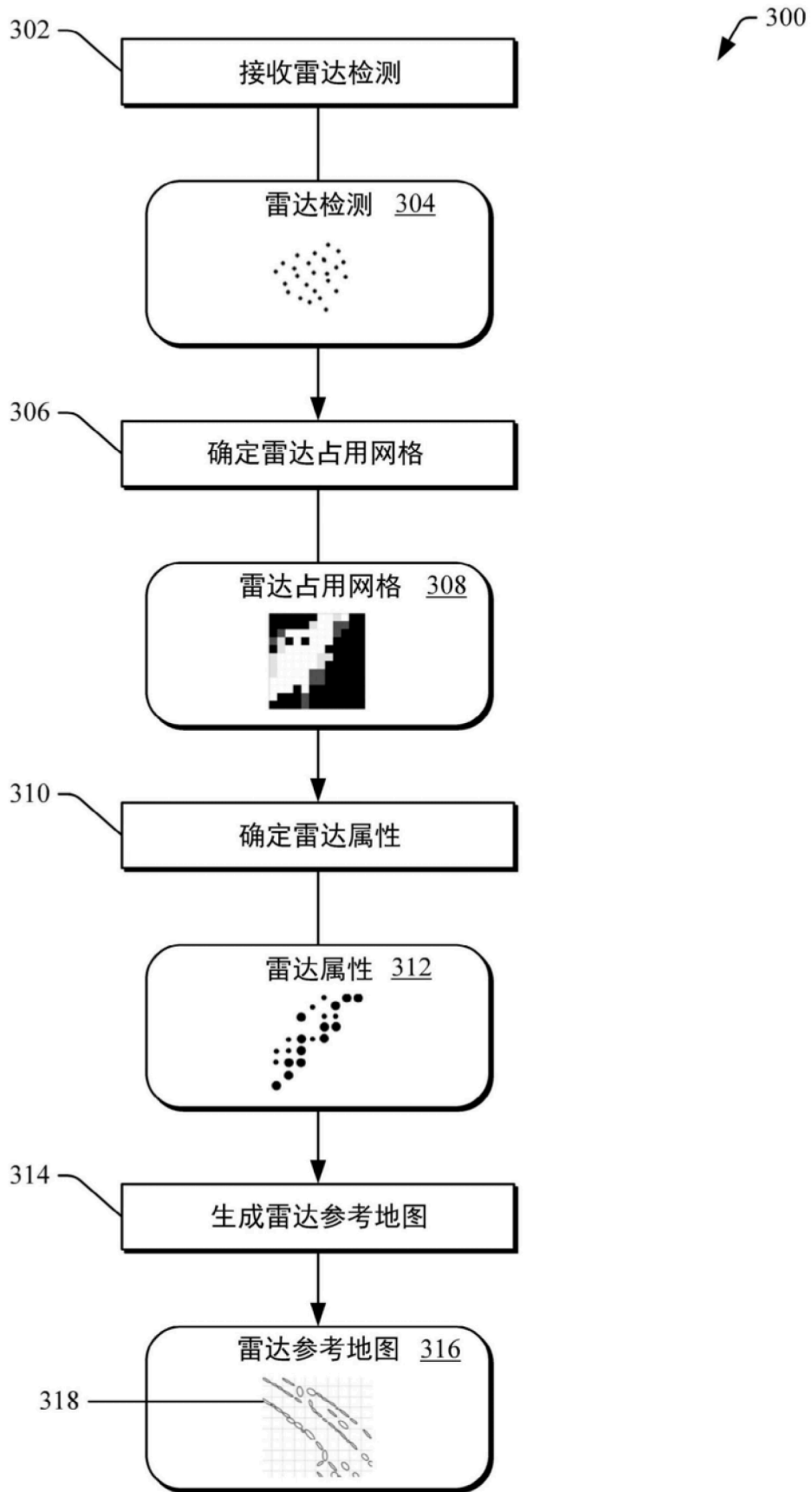


图3

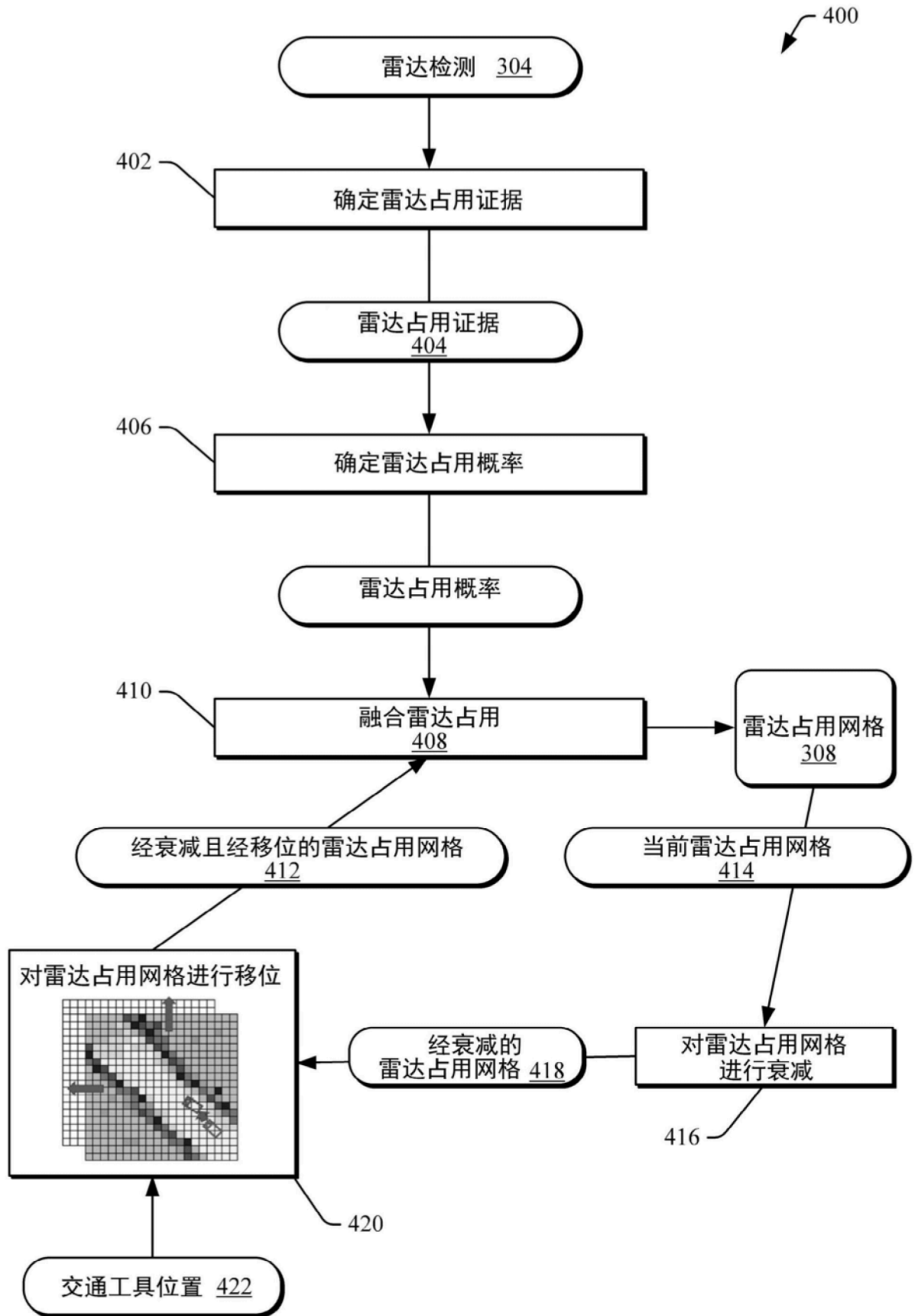


图4

500

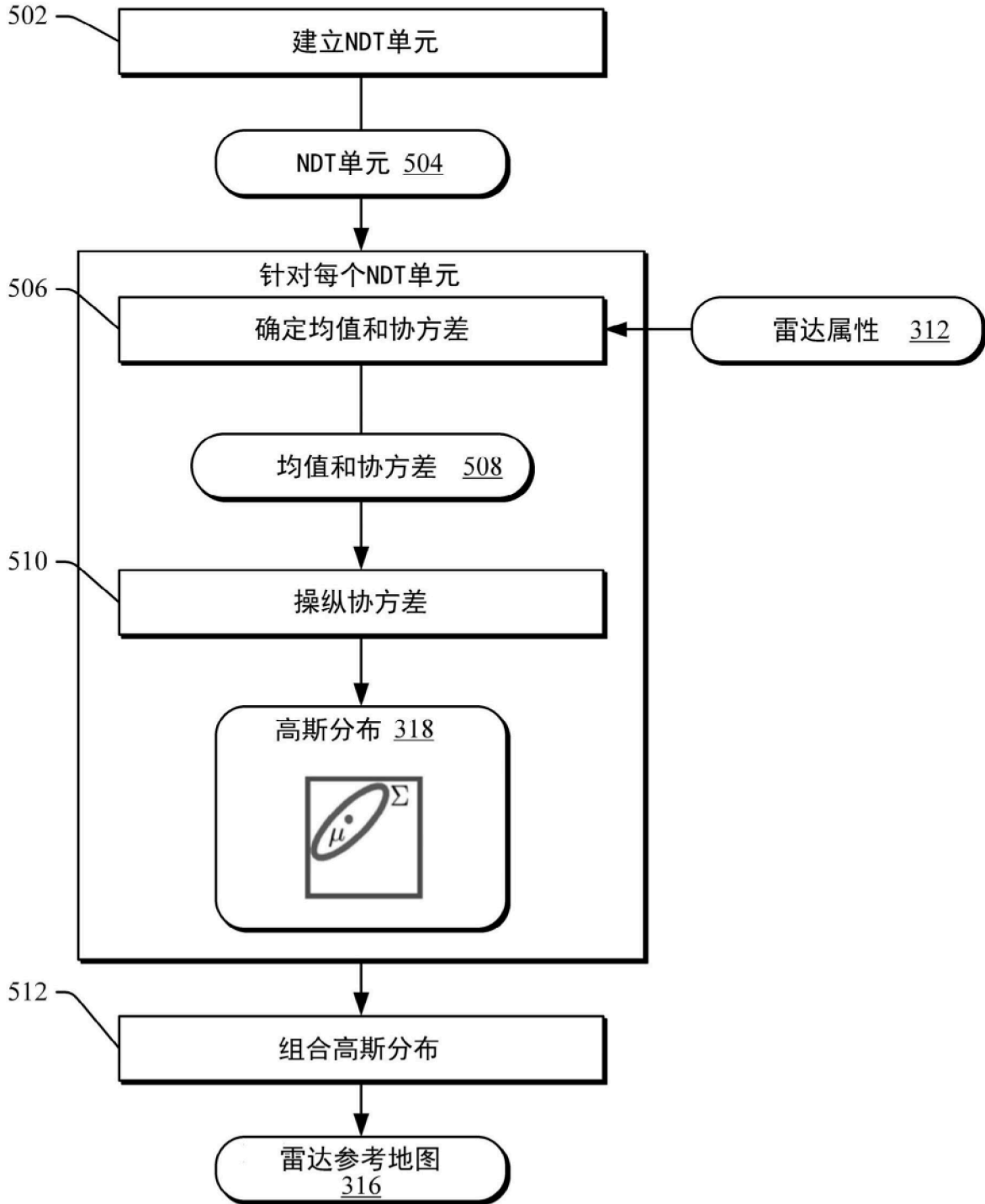


图5

600

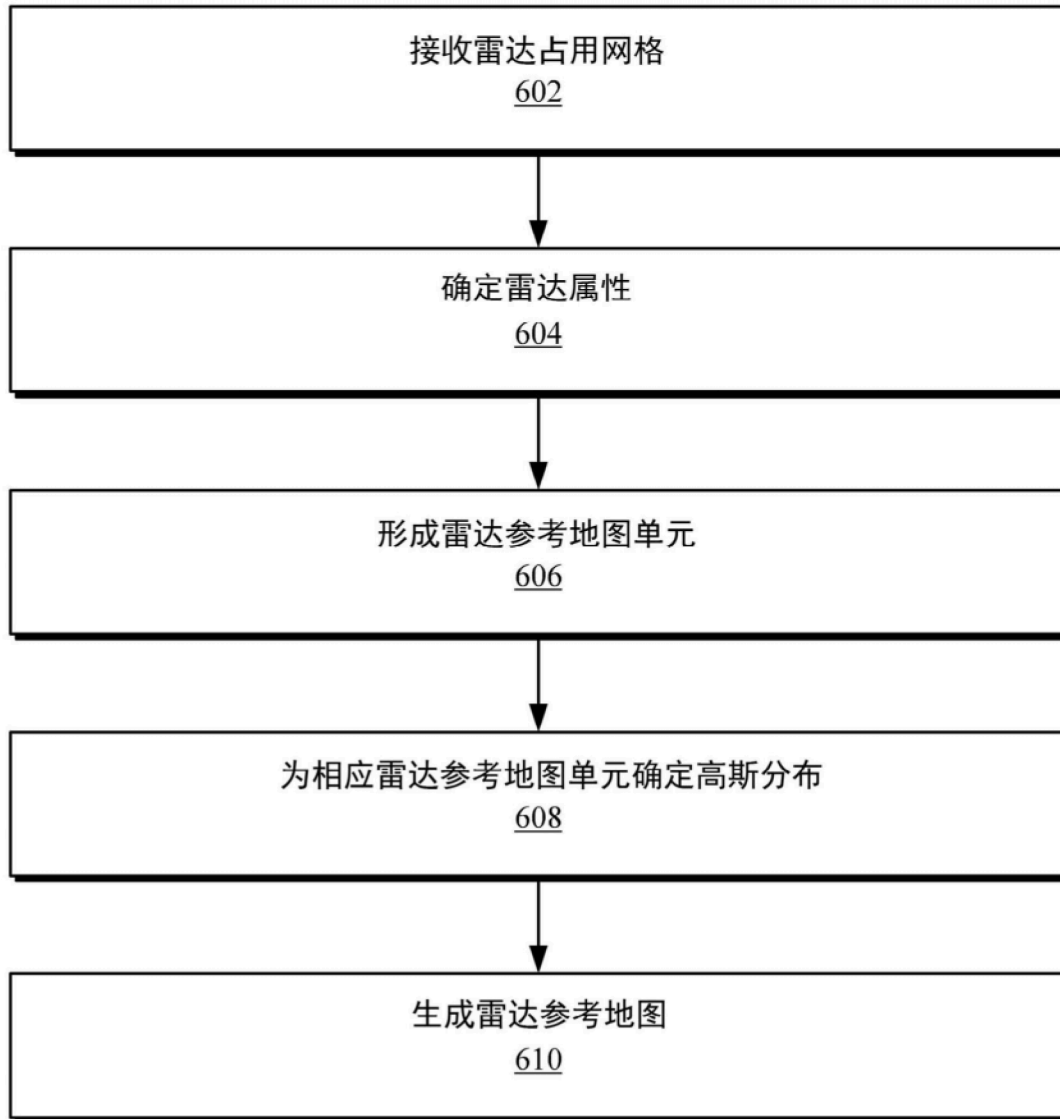


图6

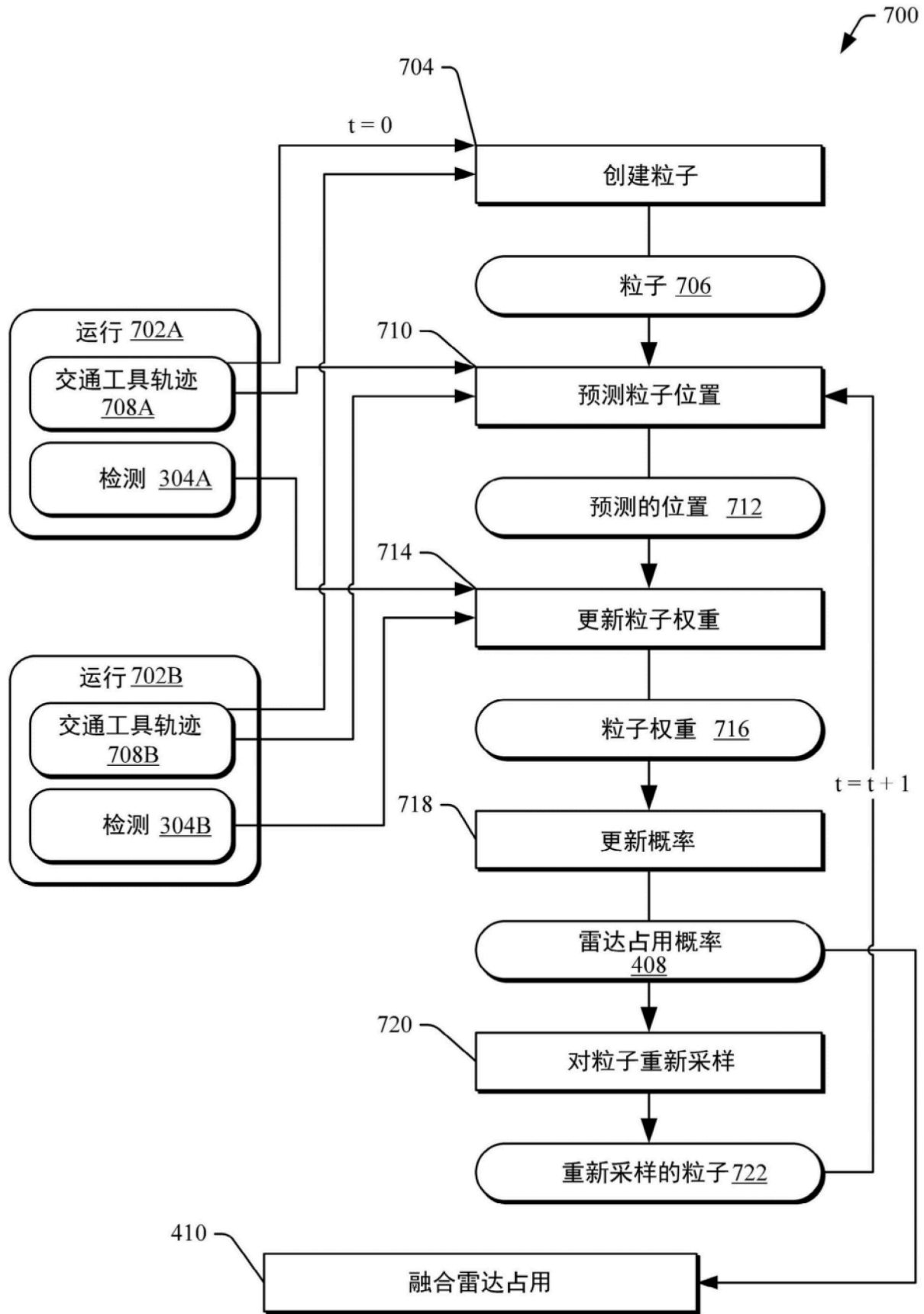


图7

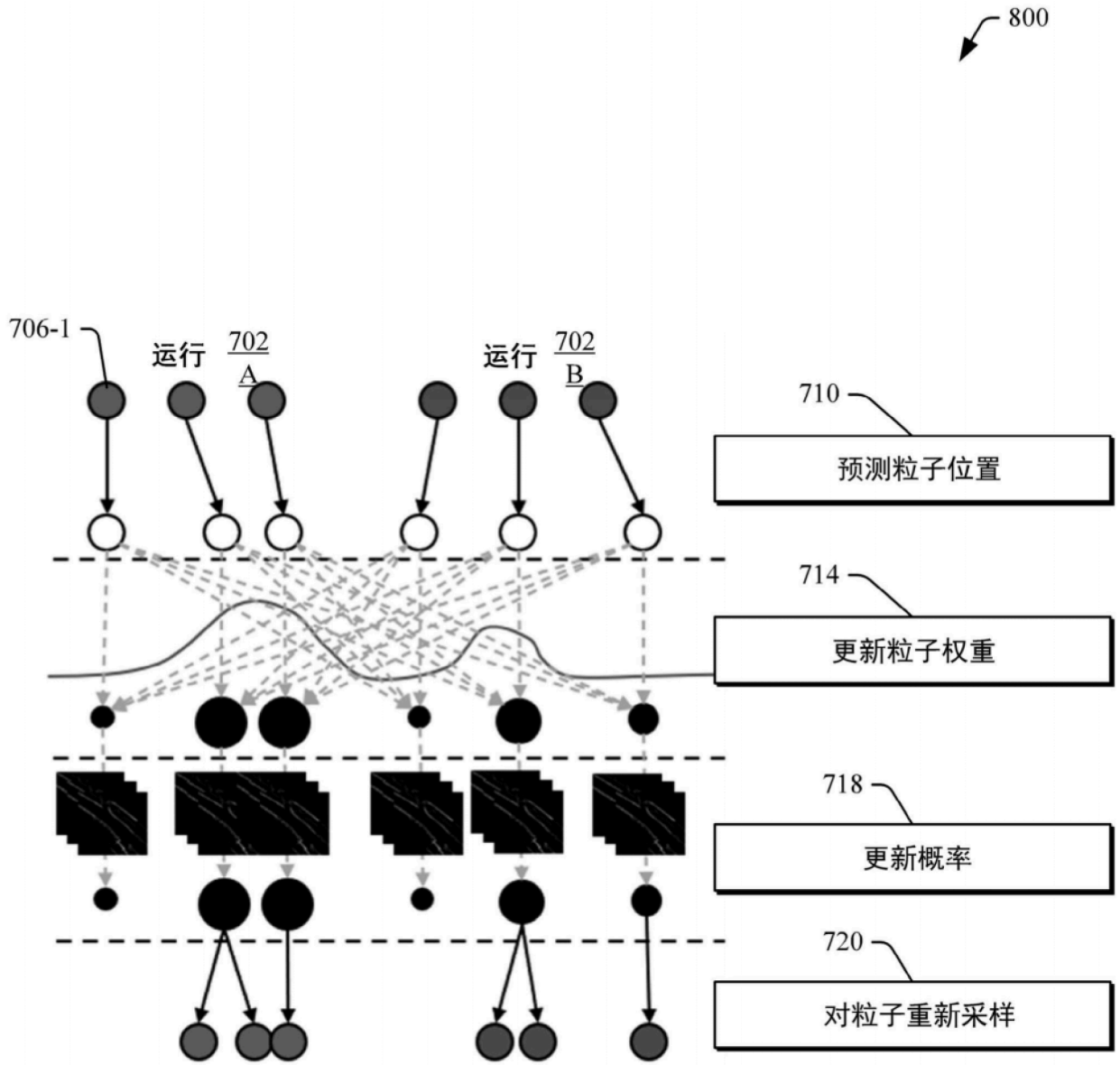


图8

900 ↙

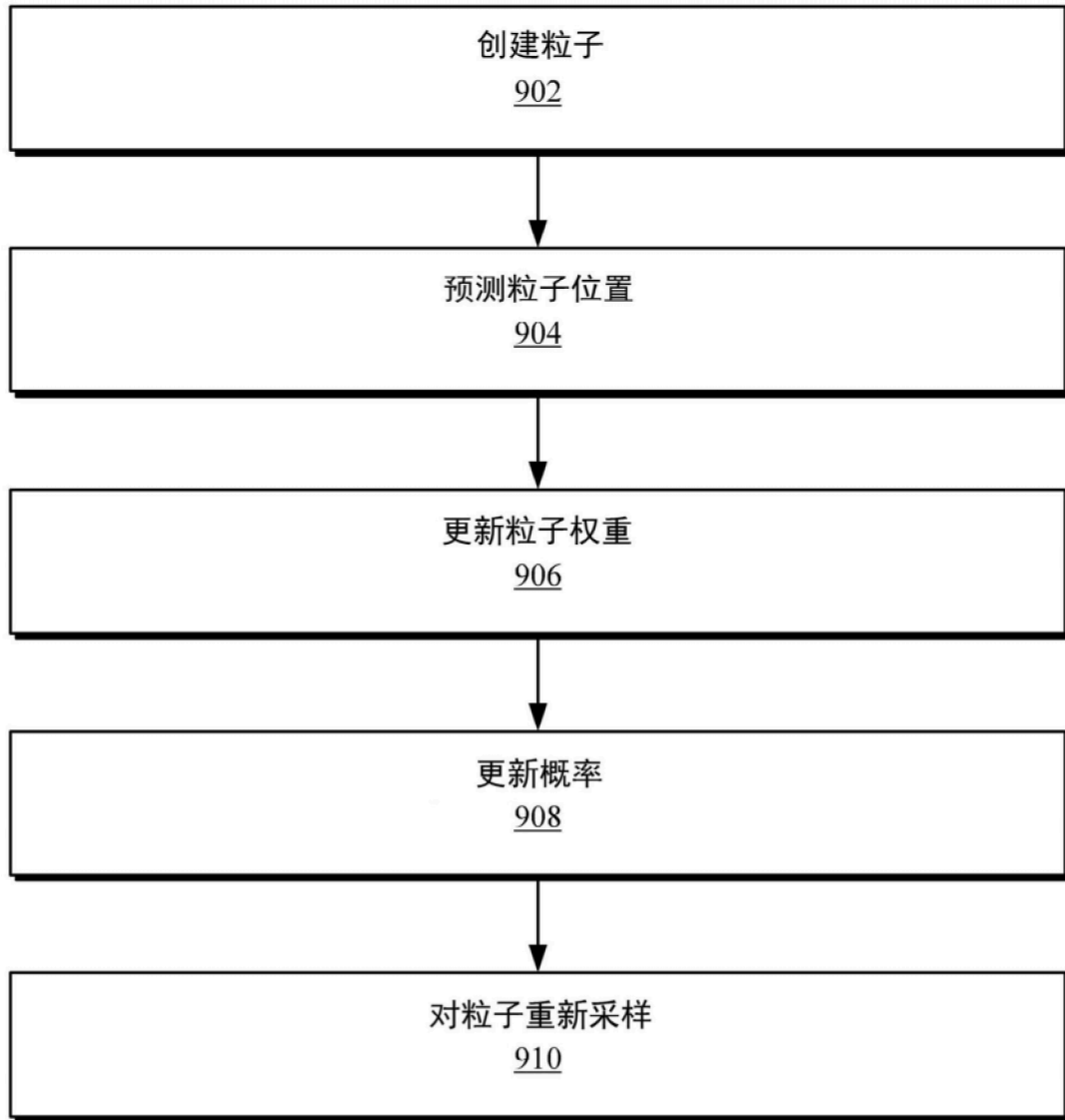


图9

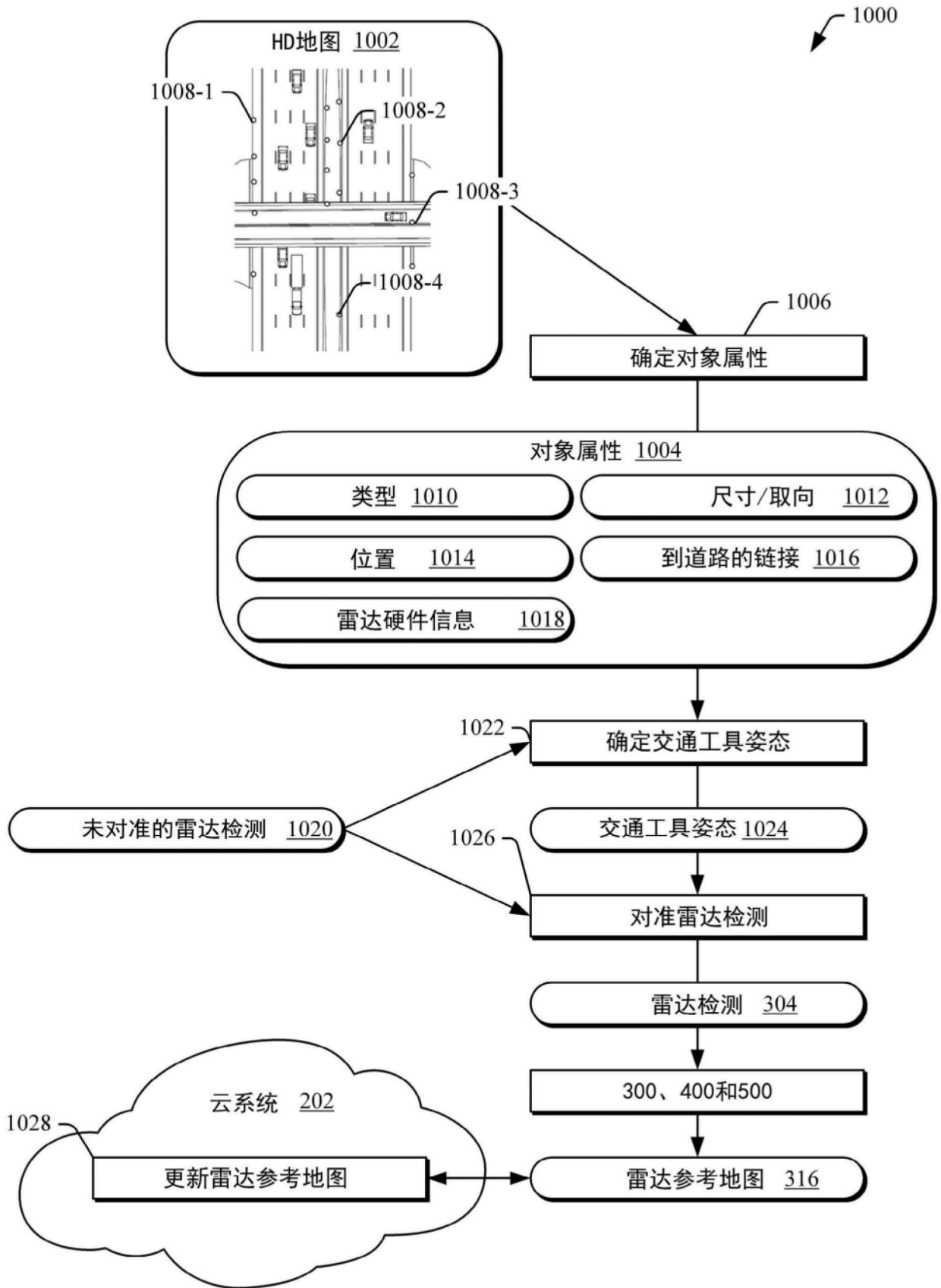


图10

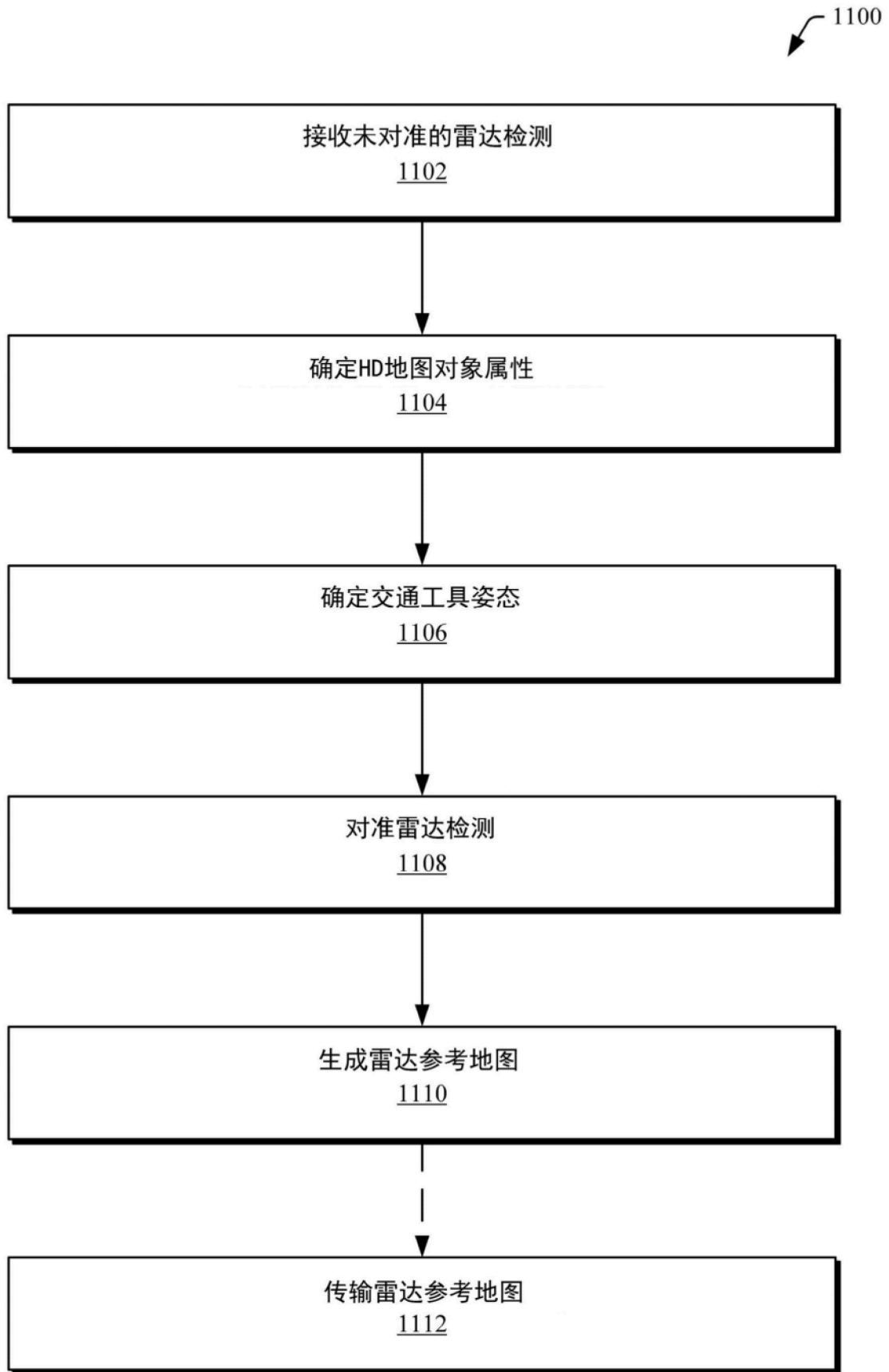


图11

1200

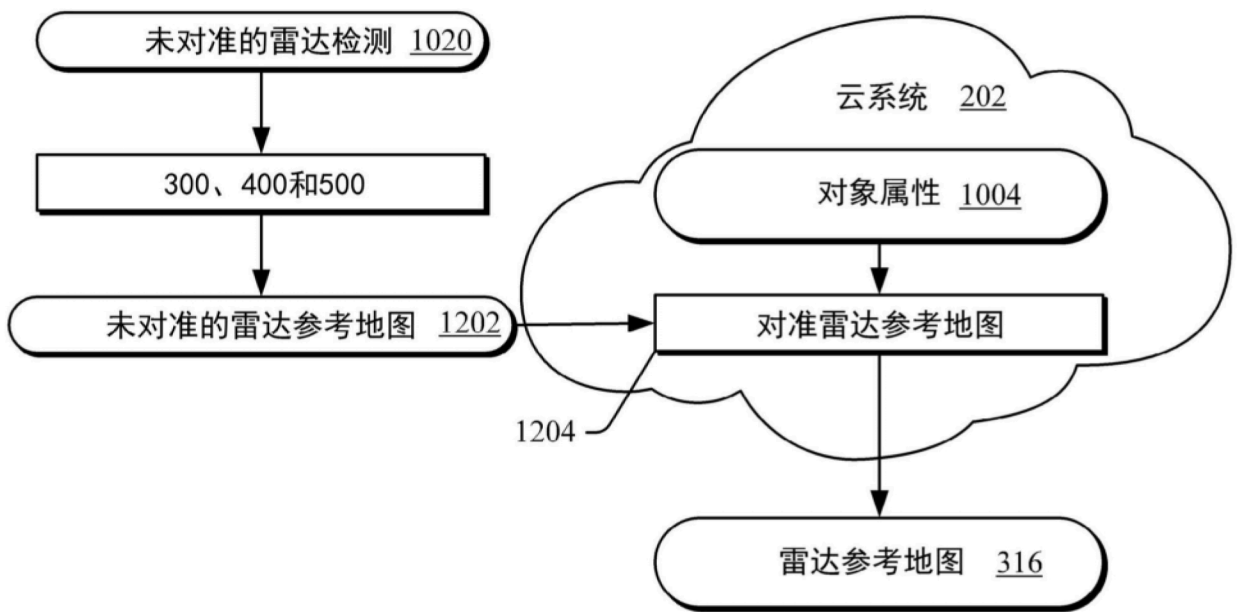


图12

1300

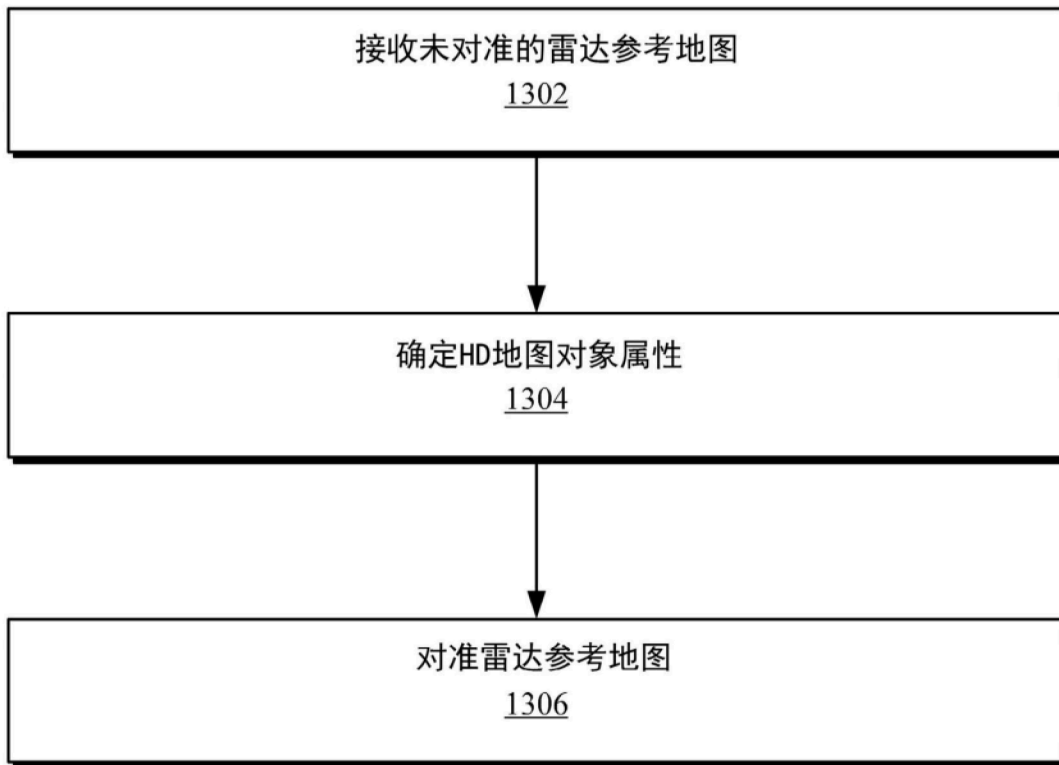


图13

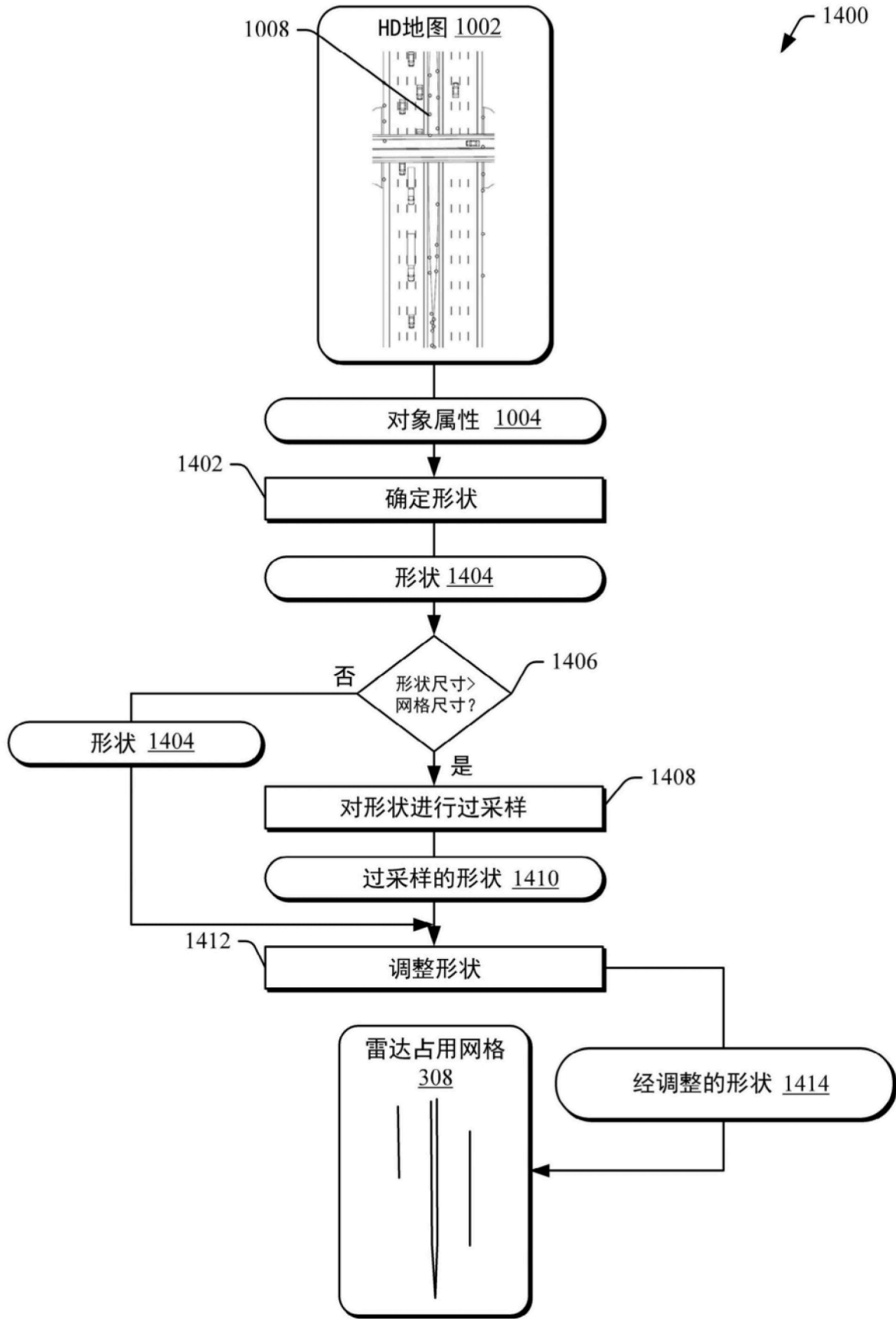


图14

1500

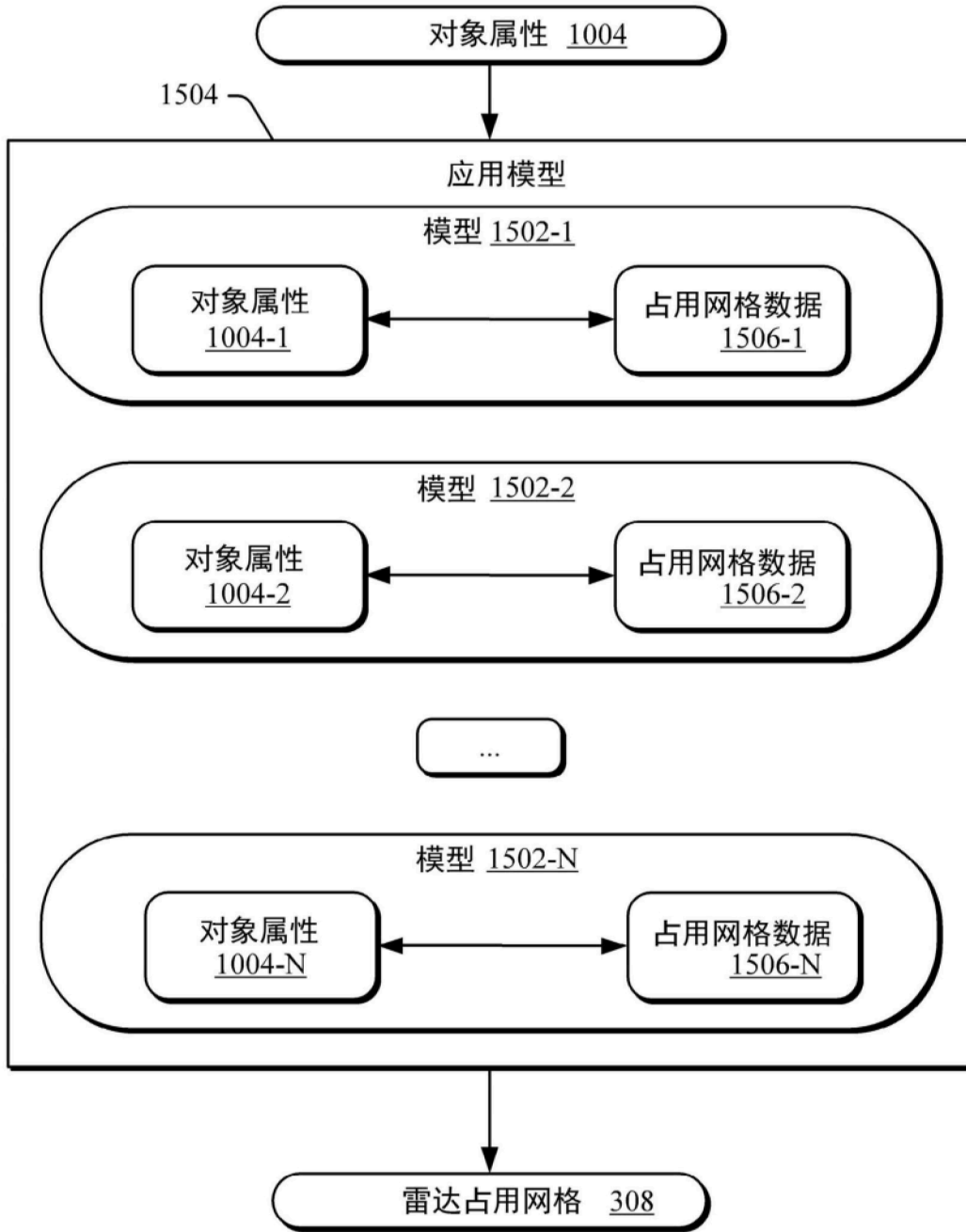


图15

1600 ↙

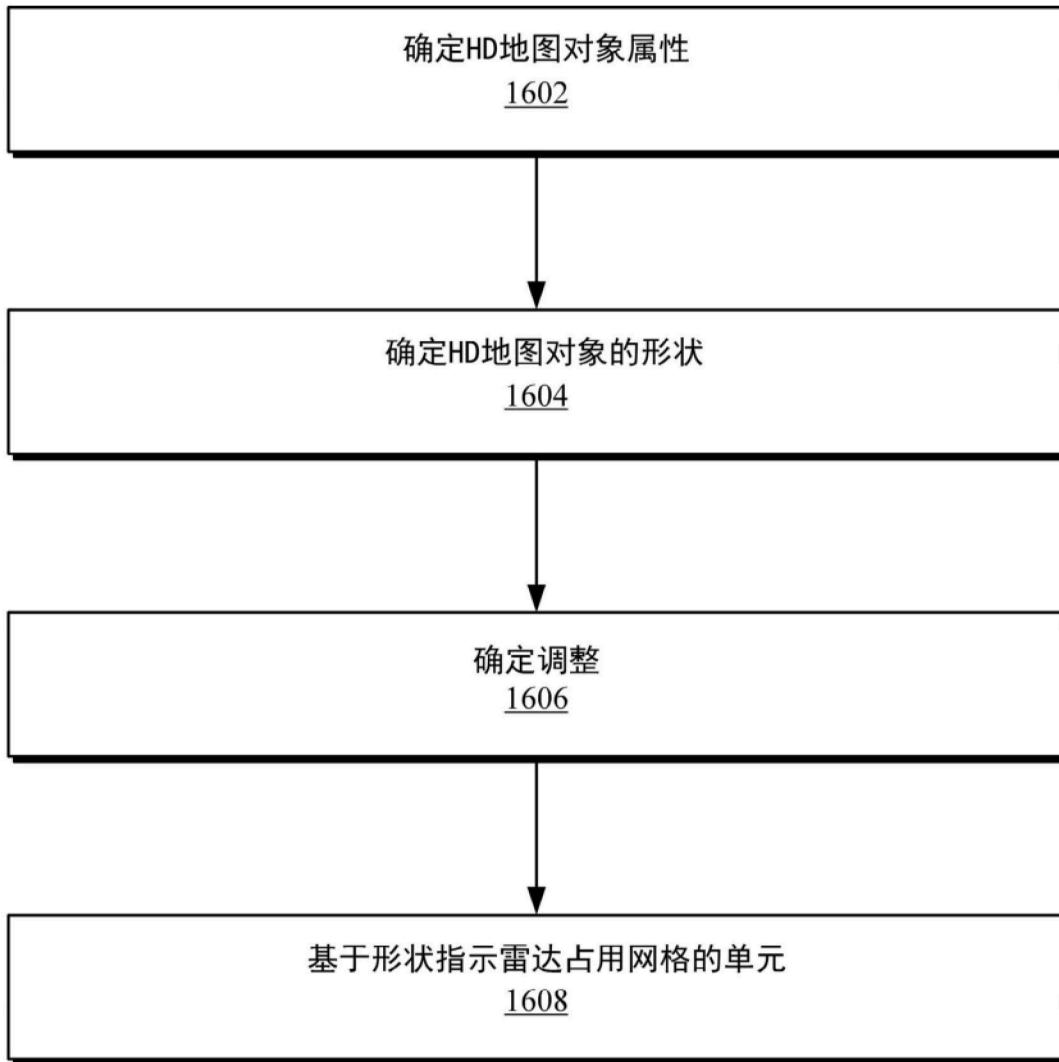


图16

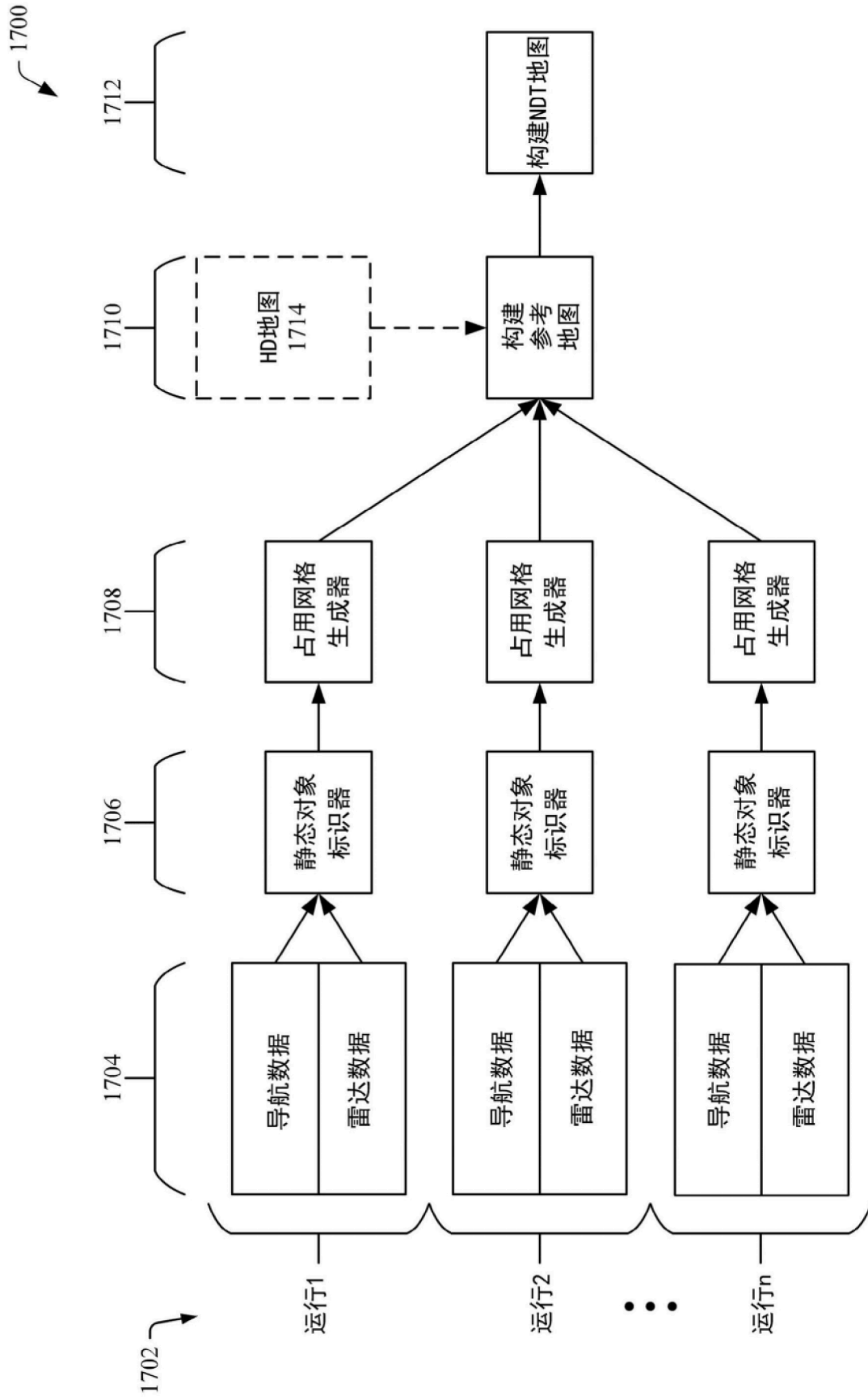


图17

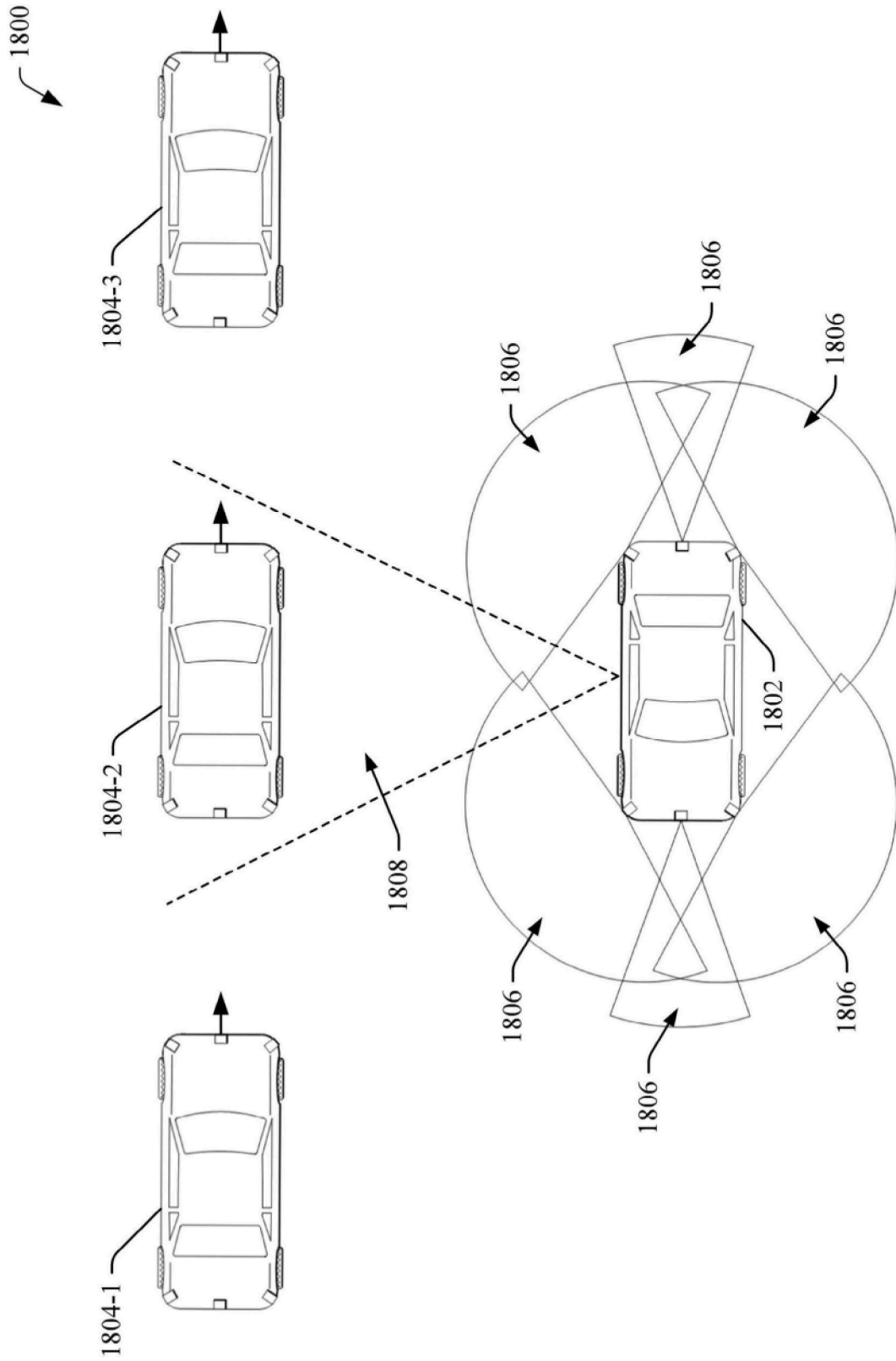


图18

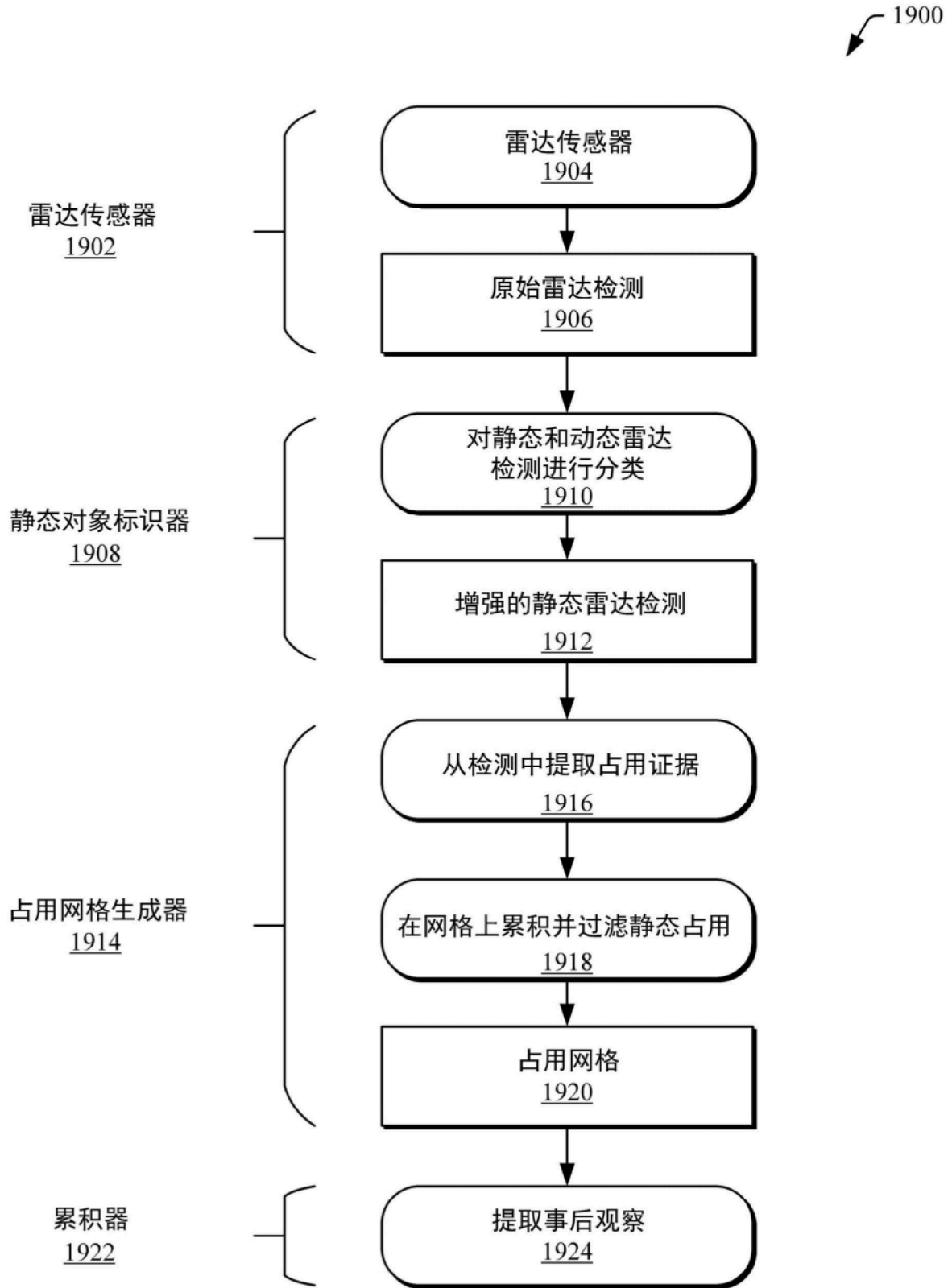


图19

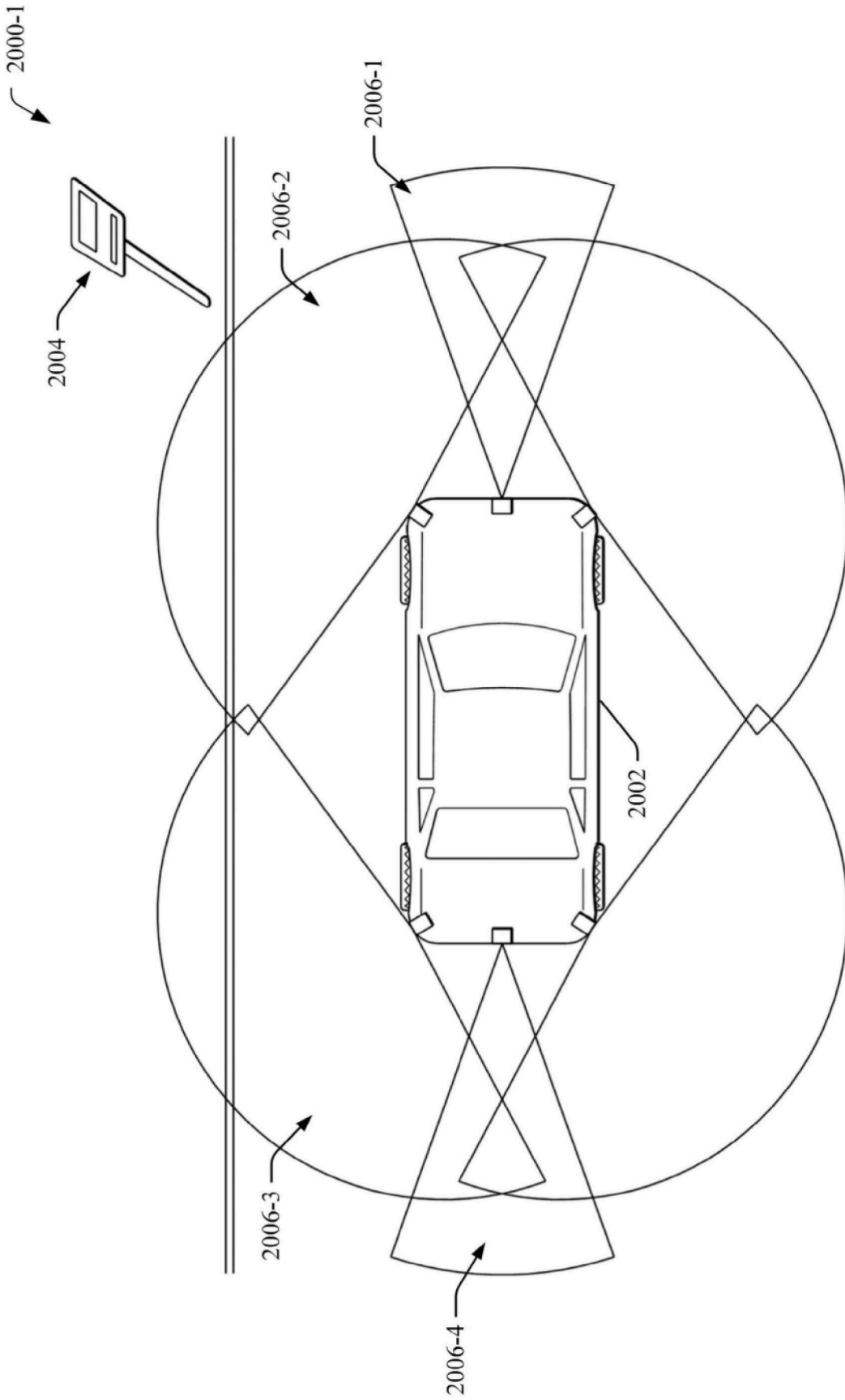


图20-1

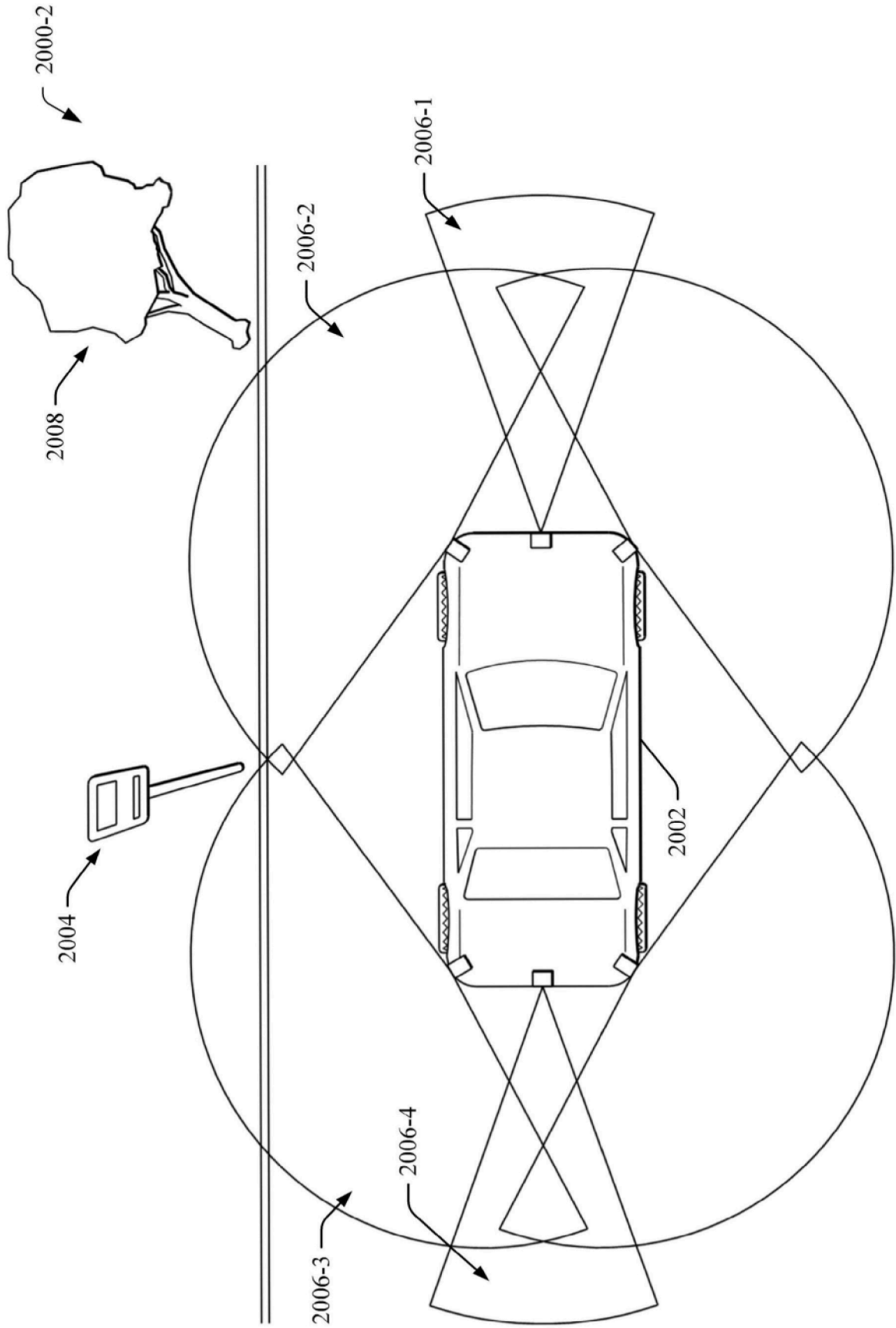


图20-2

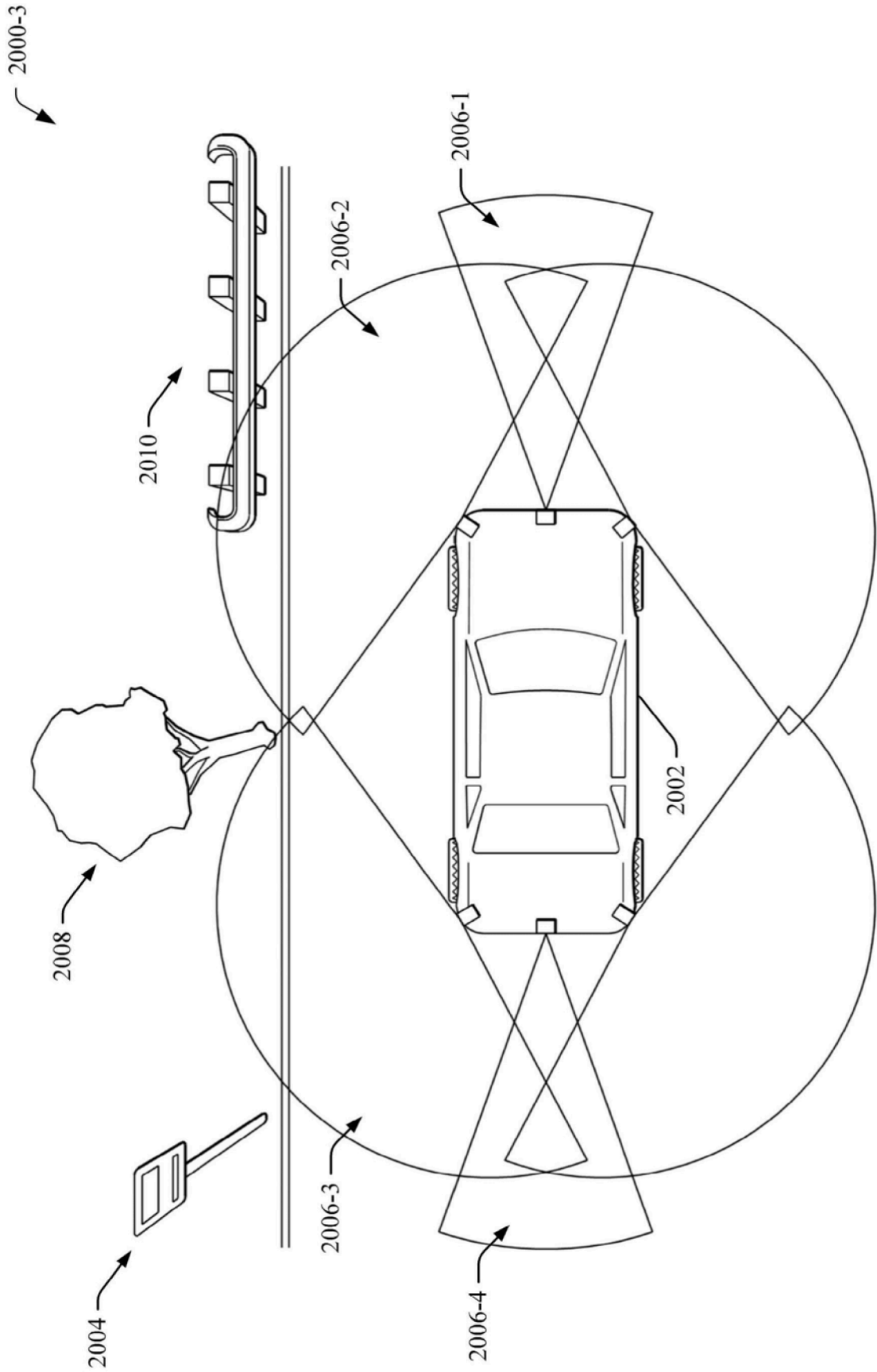


图20-3

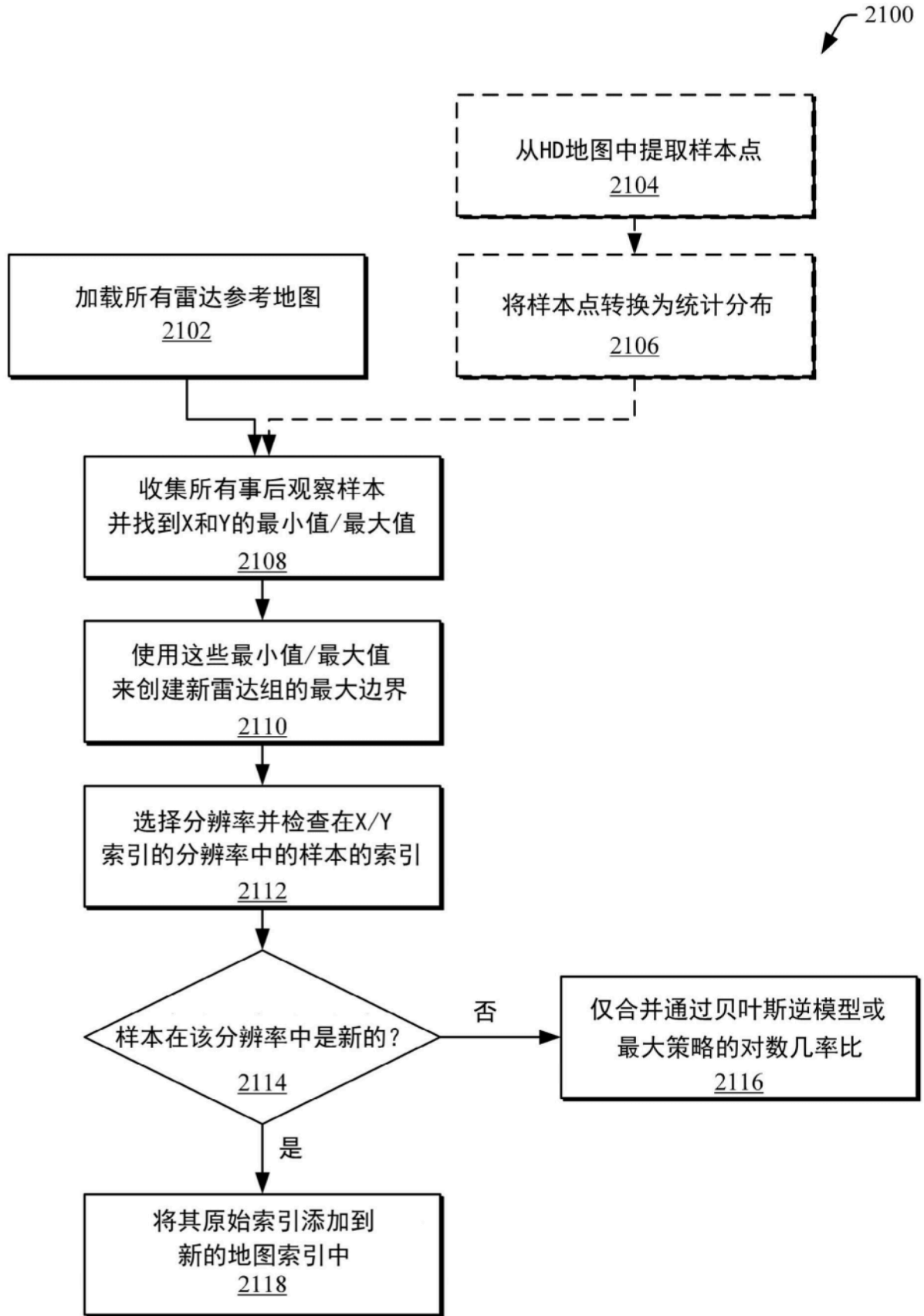


图21

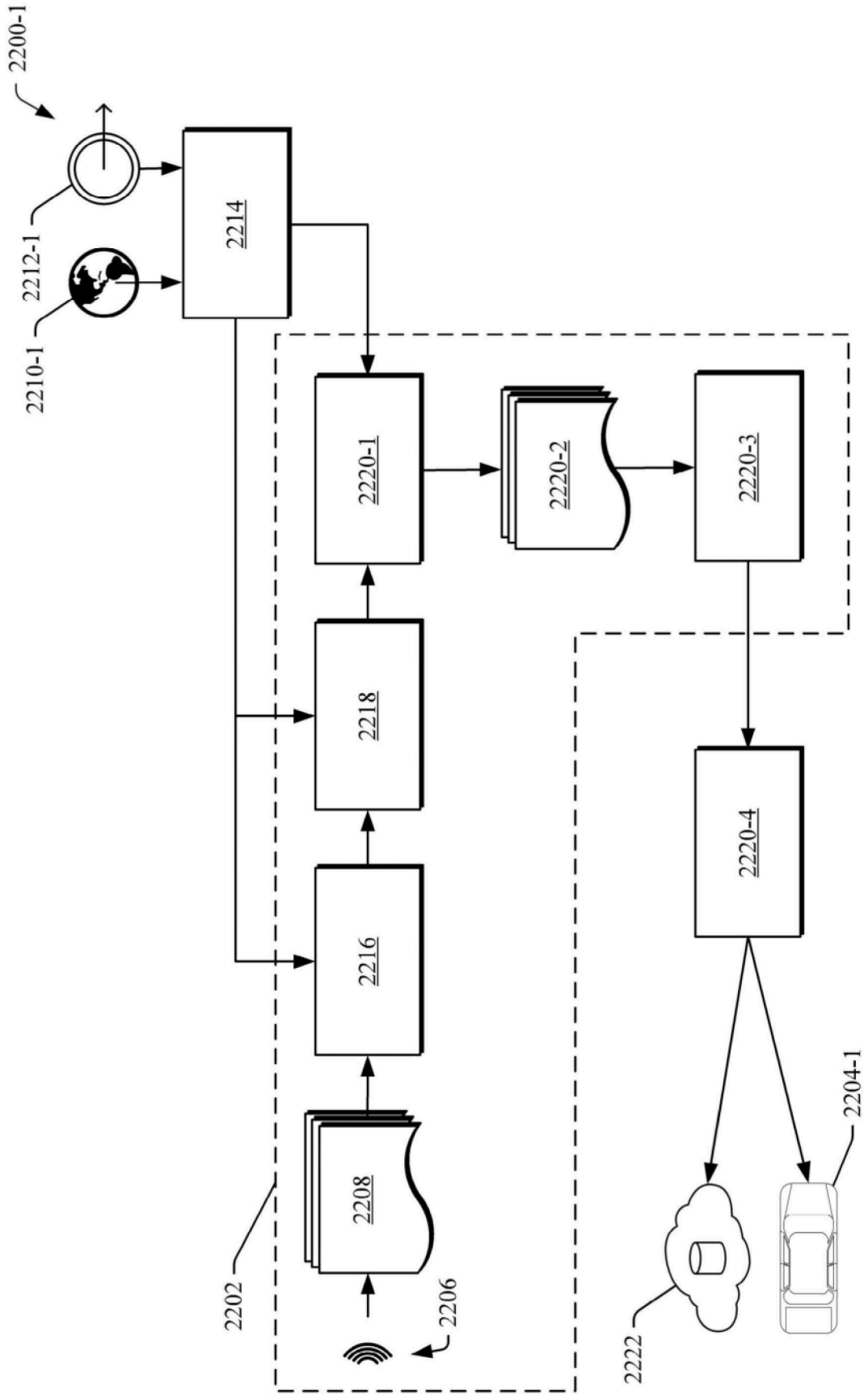


图22-1

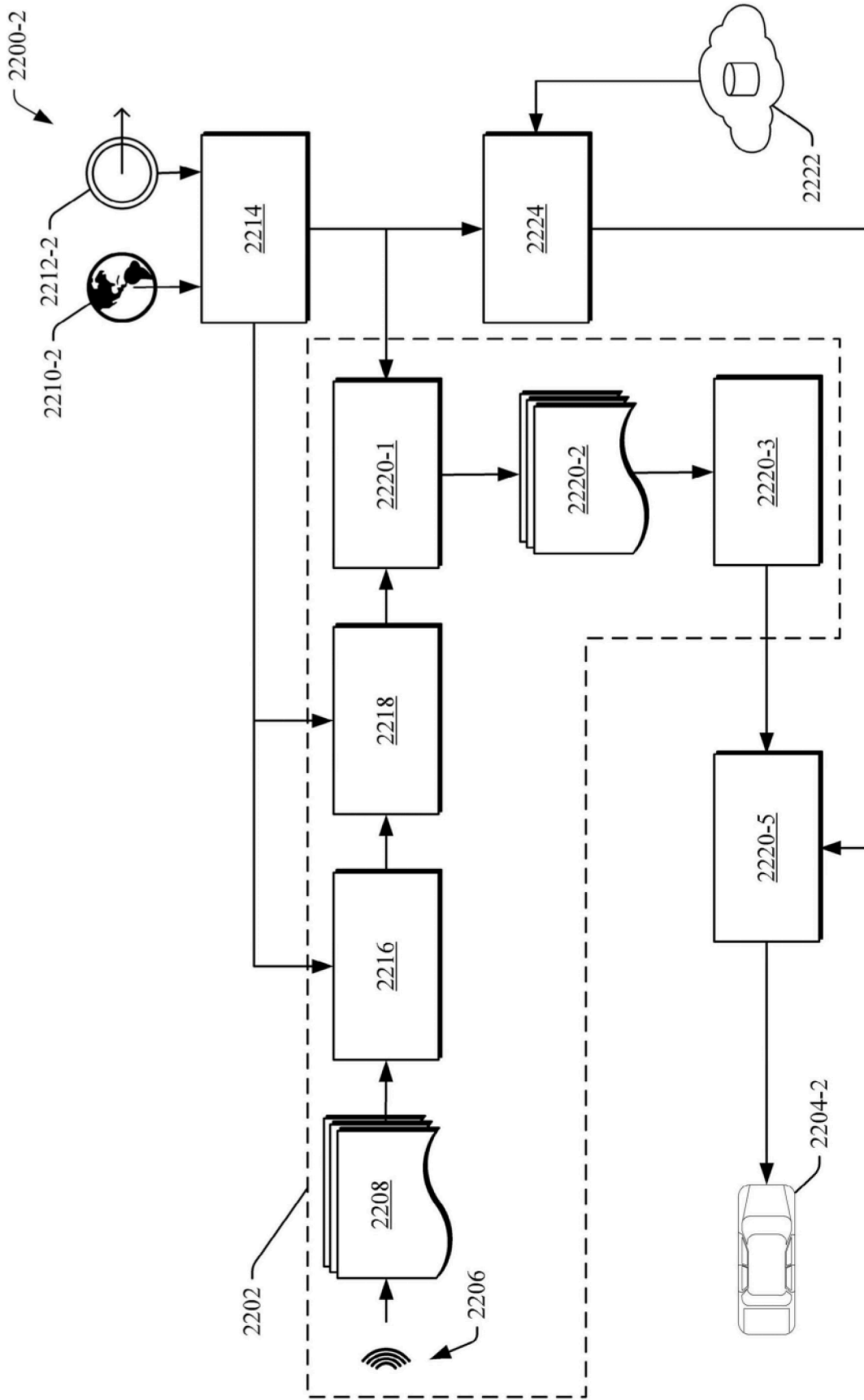


图22-2

2300

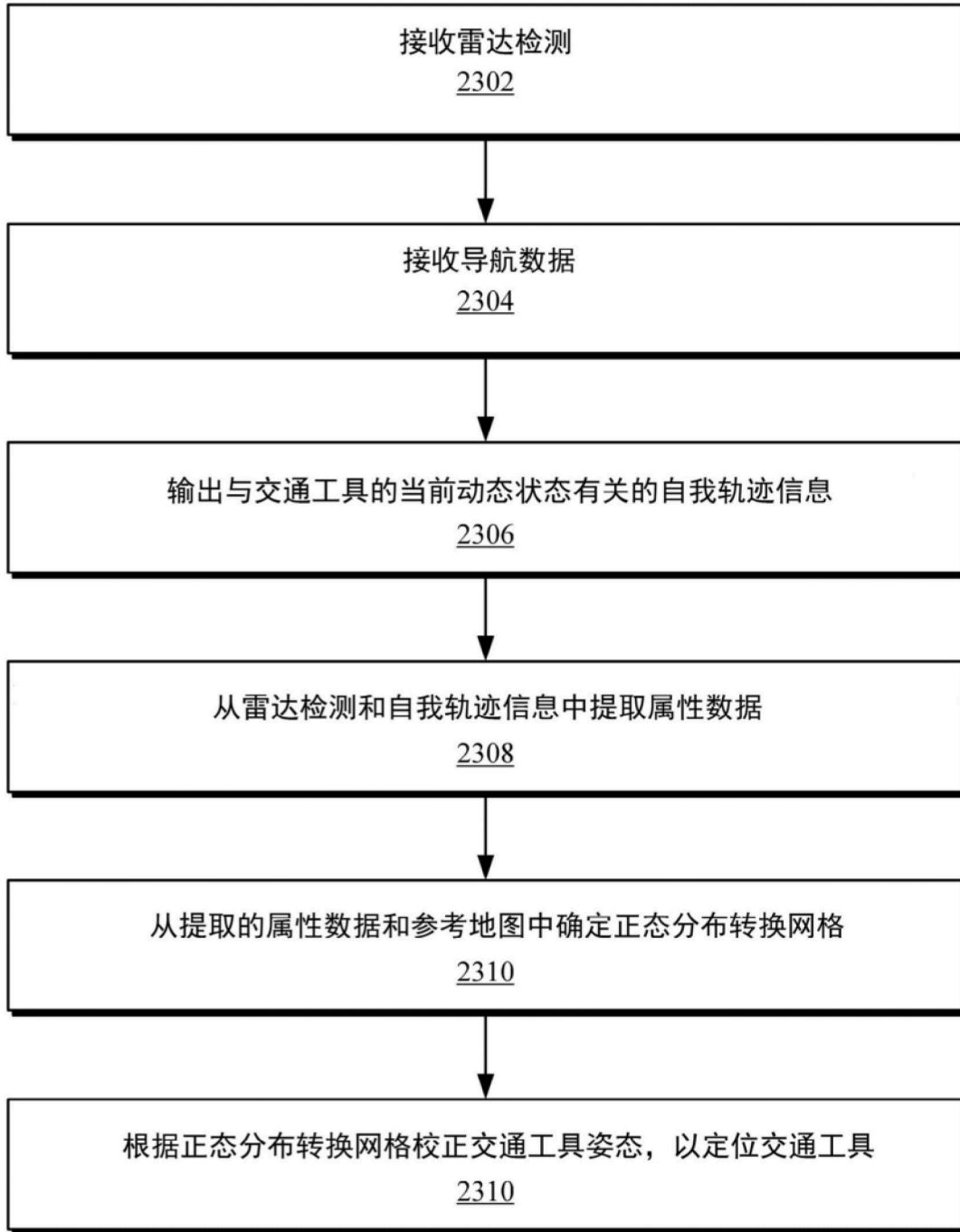


图23