

奥里导航: 面向视障人士的无障碍导航手机软件

第二阶段研发提案

1. 背景

视障人士的安全、独立出行，既是现实生活中的迫切需求，也是新时代无障碍社会建设中的关键议题。国家统计局数据显示，2023 年末，中国有 8591.4 万残障人士，其中视障人士最多，达 2856.5 万，且每年仍在新增约 45 万人。与此同时，中国信息无障碍产品联盟于 2016 年发布的调研报告指出，在 1805 名视障人士样本中，约 30% 几乎不外出，而每周外出 4 至 6 次或以上且无需家人陪同的仅占 9%。日常生活中，视障人士常面临“信息断层”和“空间迷失”两重障碍：一方面，视障人士难以获取周边环境中的关键信息；另一方面，在复杂、动态的道路场景中，视障人士往往难以持续判断自身位置、目的地位置及下一步行动。

在国家治理和信息化建设持续推进的背景下，无障碍出行已成为制度层面持续关注的重要议题。2023 年 9 月施行的《无障碍环境建设法》第一次将无障碍环境建设写入专门法律，强调无障碍环境建设工作不仅局限于基础建设层面，还要包括信息无障碍建设、社会服务建设等。该法提出，各级政府要为残障人士提供方便安全的出行与信息服务，且国家要通过经费支持等方式，鼓励无障碍技术、产品和服务的研发、生产、应用和推广。2025 年 10 月，《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》进一步指出，要促进公共设施无障碍改造，健全残障人士服务保障体系。由此可见，普及无障碍理念、推广无障碍技术已成为制度化、长期性的战略要求。

即便政策支持不断加强，视障人士在出行中仍然面临一系列困难。重庆大学针对我国视障人士通行环境的实地调研指出，视障人士日常出行中面临许多问题，包括天桥坡道等通行设施带来的安全隐患、人行道上常见障碍物存在的刮碰风险、施工区域等环境的临时变化增加寻路难度等。为解决这一问题，社会各界已经开始积极探索。例如，湖南等地的新法规将信息无障碍纳入数字社会建设内容，明确要求地图导航等出行软件完善无障碍标识和无障碍路线规划。高德地图的无障碍导航功能自 2022 年上线以来累计提供了逾 1.5 亿次无障碍路线规划，2024 年 8 月更升级新增了“视障导航”，提供了盲道导航、红绿灯识别等功能，但由于数据准确度限制，在东坝乡小范围测试中，红绿灯识别、盲道导航功能均未生效，覆盖范围仍较为有限。

对于视障人士而言，成功的导航需要回答三个关键问题：“我在哪里”、“我要去哪里”及“我该怎么去”。然而，现有的导航解决方案往往对这些问题的回应不充分，或对视障人士而言并不友好。以“我该怎么去”为例，这一问题实际上包含两个层面：一是宏观导航，即确定前往目的地的整体路线；二是微观导航，即在实际行走过程中判断每一步该如何行动。多数现有的导航应用都只关注宏观导航，而缺乏将微观导航整合其中的解决方案。常见导航软件中的无障碍导航功能，虽然实现了一部分微观导航功能，但由于红绿灯、盲道等数据有限，尚不能覆盖许多场景。为解决这一问题，我们研发了奥里导航手机软件。奥里导航结合地图数据和手机摄像头获取的图像数据，将户外的宏观导航和微观导航结合起来，目标是帮助视障人士实现“门到门”的导航体验。

2. 现有相关研究

现有相关研究已经在视障导航领域形成了较为丰富的技术基础，但整体上仍未实现真正意义上的“门到门”导航。这些方案大致可分为两类：一类是已经投入实际使用的市场产品，另一类是文献中的研究系统。前者证明相关功能具有现实落地可行性，而后者则进一步说明，当前系统往往只能覆盖导航链条中的某一部分：要么偏重路线规划，要么局部环境感知，少数混合系统虽然同时涉及两者，却又常常依赖额外设备或基础设施。最终，这些系统难以在真实环境中支持视障人士的“门到门”导航。

2.1. 市场中相关产品

在市场产品中，高德地图是国内最具代表性的案例之一。高德无障碍导航于 2022 年上线，最初主要服务轮椅用户；2024 年 8 月，其无障碍导航进一步新增“视障导航”，可优先规划包含盲道的路线，并在经过路口时提供红绿灯语音提醒与偏航纠正提示。公开报道显示，截至 2024 年 11 月，高德无障碍导航累计已提供超过 1.5 亿次无障碍路线规划。高德地图的优势在于依托成熟地图数据和主流出行平台，将无障碍能力嵌入现有导航生态之中；但其提供的十分重要的红绿灯语音提醒功能却由于数据缺失而覆盖范围较小。同时，高德地图尚未充分利用其拥有的入口等丰富数据，使得视障人士尚不能使用其完成“门到门”导航。

谷歌地图代表了国际上主流的地图产品。谷歌地图在步行导航中推出了“详细语音指引”功能，可以在用户步行时更频繁地播报是否处于正确路线、距离下一个转向还有多远、是否接近大型路口等。与此同时，谷歌地图还积累了超过 5000 万个地点的无障碍设施信息，可供视障用户参考。谷歌地图的长处在于全局路径引导，但其能力仍仅能将用户带到目的地附近，且尚不能帮助视障用户进行环境感知，因此仍然不能单独构成完整的“门到门”导航。

除主流软件外，市场上也出现了更专门面向视障用户的产品。例如中国开发者的视氮导航软件，提供了目的地搜索、周边播报、道路夹角提示、收藏地点导航等功能，更加贴近视障用户的日常使用场景。但从产品能力看，视氮导航仍主要聚焦于方向提示和位置播报，对于路口提示、目的地入口提示、红绿灯提示等的支持仍然较为有限，尚不能用作完整的导航软件。

在国际上，不少针对视障人士开发的导航软件需与其他导航软件配合使用。微软公司的 Soundscape 的通过三维音频持续播报道路、路口、地标和兴趣点，帮助用户形成对周边环境的空间认知。使用时，Soundscape 一般在后台运行，辅助前台运行的其他导航软件。BlindSquare 也是一款广泛使用的无障碍导航软件，能够持续播报当前位置、附近路口、兴趣点以及目的地方向，并可与第三方导航应用配合使用。此类产品在增强视障用户的空间理解上非常有价值，但由于其尚未集成更完整的红绿灯识别、路径规划等功能，导致用户较为依赖完善的无障碍基础建设。在无障碍基础建设缺失的地区，用户则不能实现“门到门”导航。

总体而言，市场上的产品已经覆盖了路径规划、位置播报、周边环境提示、盲道优先规划等多个方面，但大多尚未整合这些功能：主流地图产品更关注路线规划，而 Soundscape 及 BlindSquare 等软件更强调环境认知。由于现有产品尚未完整贯通各类导航任务，用户仍难以仅依靠单一系统完成“门到门”导航。

2.2. 文献中相关研究

文献中的相关研究同样存在类似区分。由于市场上已有较多宏观导航系统，文献中的宏观导航系统主要为其他特定场景设计。例如，SUBE 系统通过蓝牙信标帮助用户完成公交上下车提示，Velázquez 等提出的系统则通过触感鞋垫反馈现有位置。这些研究在特定场景中有效，但往往依赖额外设备，推广成本较高。其他文献中的微观导航系统专门解决环境识别的问题。Ito 等提出的 CyARM 系统利用超声和触觉反馈帮助用户避障；Schwarze 等提出的系统通过立体视觉与空间音频提示障碍物位置，但需要头戴摄像头与背包式设备；Peng 等提出了较早的手机障碍检测应用，能够实时提醒用户前方风险，但要求手机维持固定姿态，使用并不自然。此后，Huang 等、Bhowmick 等和 Hoang 等分别使用微软 Kinect 技术、穿戴式硬件或舌部电刺激等方式进行障碍识别或反馈。而更近期的 DeepNAVI 已经能够完全运行在智能手机上，并整合了除障碍识别外的场景识别等多项功能。即便如此，这些系统一般不具备路线规划能力，在室外导航中的可用性有一定限制。

已有文献也尝试提出了结合微观导航和宏观导航的系统。例如，Tyflos 将立体视觉和激光扫描结合起来，用于场景描述和导航；Drishti 将室外 GPS 与室内超声定位结合，实现语音导航；TARSIUS 将手机应用和提供环境信息的蓝牙信标结合在了一起。而最新的导航

系统 ENVISION 已经走向手机路径，将 GPS 导航与障碍识别结合在同一手机软件中，相比前述依赖额外设施的方案有所推进。然而，这些系统仍有一定限制: Tyflos、Drishti 和 TARSIOUS 都需要额外设施，而 ENVISION 虽然运行在手机上，但功能集中于障碍物识别，尚不能处理过马路等关键情境。换言之，混合系统已经说明了宏观导航与微观导航的结合是正确方向，但尚未真正完成对整个出行周期“门到门”的覆盖。

因此，无论是市场产品还是文献中的研究系统，都共同指向同一个结论: 现有方案大多只能解决视障导航中的一部分问题，而不能完整回答“我在哪里”、“我要去哪里”、“我如何安全地走到那里”这三个问题。相较于现有系统，奥里导航项目的最终目标是在智能手机端将宏观导航与微观导航整合为一个连续系统，尽可能覆盖从起点到终点的完整户外出行过程，从而向“门到门”导航迈进。

3. 第一阶段研发成果

3.1. 软件开发

奥里导航项目的长期目标，是为视障人士提供完整的“门到门”导航支持，即在从起点到终点的整个户外出行过程中，同时解决路线规划、方向判断、障碍规避、路口通行等关键问题。现有方案往往只覆盖其中一部分: 有些只能提供转向导航，有些只能提供局部环境感知，因此难以真正支持视障人士完成连续、独立的真实出行。奥里导航第一阶段研发中初步在手机端打通了这些环节，形成一个基本可用的综合导航原型系统。

在第一阶段中，项目首先搭建了核心功能框架，形成了同时包含导航、环境感知和信息输出的完整系统。该系统运行于 iOS 平台，集成了宏观导航、微观导航和输出模块，能够在同一个应用内提供多种无障碍功能，并通过语音和触觉反馈向用户传递信息，系统架构如图 3-1 所示。

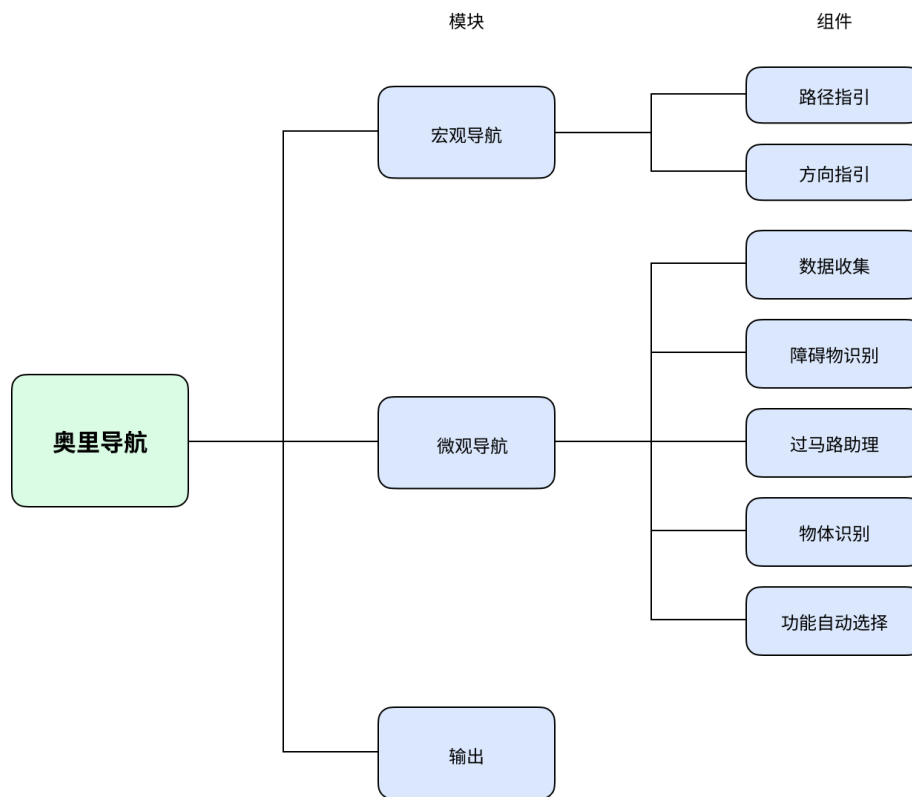


图 3-1 奥里导航的模块化设计。

从功能角度，第一阶段中实现的奥里导航原型已经初步覆盖了“门到门”导航中若干关键环节。

在路线规划方面，奥里导航已经能够提供目的地搜索、路线选择和逐步导航，并适配了视障人士的使用情景。系统会在导航过程中提供更频繁的语音提示，并支持用户按需重听当前指令；同时，传统的交互式地图界面默认隐藏，降低了屏幕阅读器环境下的操作难度，用户还能在行走过程中通过语音获得附近地点信息。其次，奥里导航在第一阶段实现了对人行道方向的持续引导。系统在行走过程中能够帮助用户判断自己是否偏离了正确前进方向。奥里导航采用了更适合视障人士理解的钟表方向表达方式，例如用“面向 1 点方向”或“面向 3 点方向”来提示应该如何调整方向。总体而言，第一阶段已经实现了对传统路线规划功能的无障碍改造，使用户不仅能知道目的地，还能更清晰地跟进路线进展。

在环境感知方面，奥里导航实现了多项面向真实道路场景的功能：障碍物识别、过马路辅助和物体识别。其中，障碍物识别运用摄像头与深度传感器数据，可以在用户行走时提醒前方存在风险；过马路辅助分为采用开放地图数据的过马路识别，在接近需要过马路情景时主动提醒用户，与运用摄像头数据进行图像识别的红绿灯识别，能够告知用户红绿灯状态与所需等待时间；物体识别则可以播报周边常见物体名称，帮助用户更好理解当前环

境。通过在行走过程中提供环境支持，奥里导航已经开始初步具备“门到门”导航所必需的连续辅助能力。

第一阶段的奥里导航系统同时实现了过马路场景的专门支持。对于视障人士而言，过马路是整个出行过程中风险最高、决策最集中的场景之一。奥里导航能够在识别到过马路场景后自动启用红绿灯识别功能，并在用户接近马路区域时提供提醒；在过马路前和过马路后，方向引导功能都会帮助用户面向正确方向。

3.2. 用户测试

为了评估奥里导航在真实情境中对“门到门”导航重要要素—安全性、效率、易用性—的效果，我们招募了 18 名视障成年人进行测试。参与者分别完成三条相似的约两百米的户外路线任务，每条路线对应一种导航条件：使用奥里导航与盲杖、使用高德地图无障碍模式与盲杖，以及仅使用盲杖。实验路线均包含一次转弯和一次未进行无障碍改造的红绿灯路口，反映了视障人士在真实户外场景中两种决策点。

如图 3-2，奥里导航第一阶段原型在效率、安全性和易用性上表现出一定优势。在完成时间上，使用奥里导航时的平均完成时间为 297.48 秒，短于高德条件下的 339.34 秒和仅盲杖条件下的 367.64 秒，且具有统计学上的显著效应。其次，在犹豫次数上，奥里导航平均为 3.72 次，低于高德的 6.67 次和仅盲杖的 6.11 次，说明用户对关键节点更加确定，行走过程更加顺畅。同时，在接近危险区域次数上，奥里导航平均为 1.22 次，明显低于高德的 2.17 次和仅盲杖的 2.28 次，说明它在安全性上已有一定改善。最后，对于主观可用性而言，奥里导航的系统可用性量表平均得分为 85.00 (满分为 100 分)，说明参与者普遍认为奥里导航更容易理解、更容易使用。这些结果共同表明，第一阶段的奥里导航原型已经能够在真实出行中为视障人士创造在一定程度上更高效、更安全、也更易用的体验。

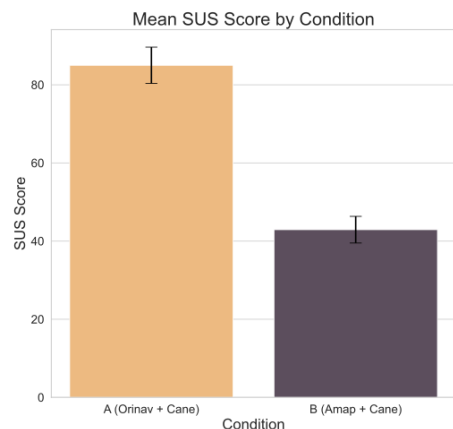
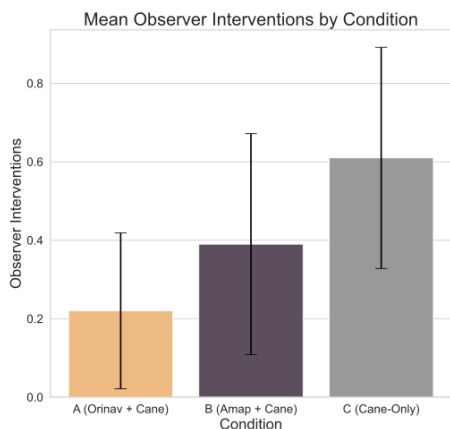
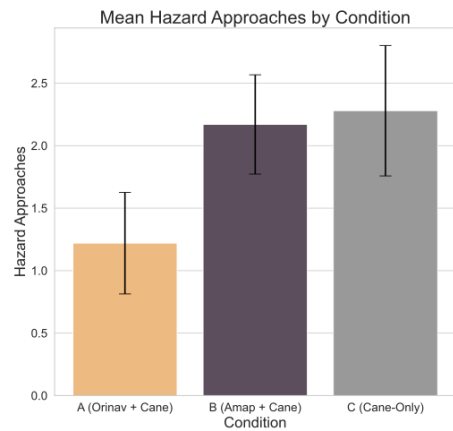
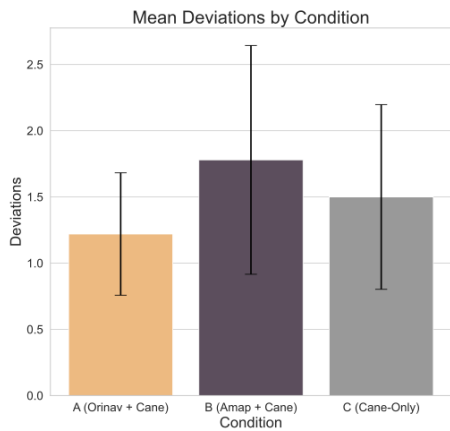
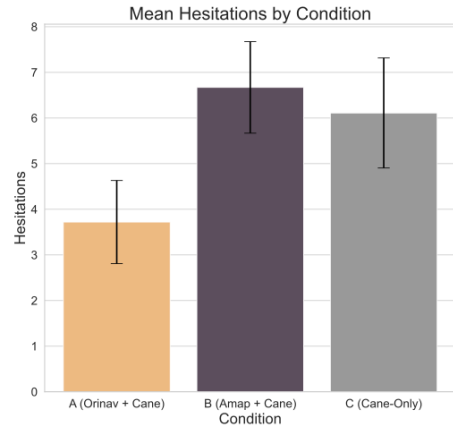
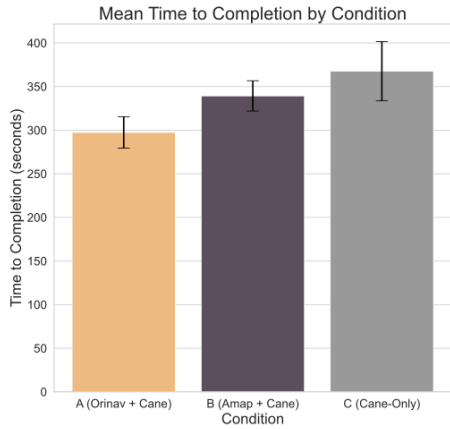


图 3-2 三种实验条件下的数据对比: A (奥里导航 + 盲杖)、B (高德地图 + 盲杖) 和 C (仅盲杖)。柱状图 (从左到右后从上到下) 展示了完成时间、犹豫次数、偏移次数、接近危险地区次数、安全暂停次数及系统可用性量表分数。误差棒表示 95% 置信区间。除系统可用性量表分数为越高越好外, 均为越低越好。

除了量化数据外，实验后的开放式反馈也说明，第一阶段的功能为用户带来了一定实际价值。对任务后开放式问卷的定性分析显示，参与者普遍认为奥里导航的界面更清晰、对屏幕阅读器更友好，且自动切换功能降低了认知负担，并表示过马路识别、障碍物识别功能提升了通行信心。同时，用户也提出了大量的下一阶段值得继续完善的方向，包括扩大红绿灯识别范围、加入盲道识别、进一步优化障碍物提示、实现入口导航等。这说明，第一阶段的设计虽然较为有效，但距离完整“门到门”导航仍存在一定差距。

3.3. 综合成果

综合来看，第一阶段研发已经形成了以下几项阶段性成果：其一，奥里导航已经在手机端完成了宏观导航与微观导航的初步整合；其二，系统已经实现了路线引导、方向对齐、障碍物识别、过马路辅助、红绿灯识别和物体识别等关键功能；其三，这些功能已经在真实用户试验中表现出对效率、安全性和可用性的提升；其四，用户反馈表明，这些功能确实提高了出行信心，并初步实现视障人士所需要的“门到门”户外导航。

自 2025 年 9 月起，奥里导航的测试版本已在多个场合进行展示。2025 年 9 月，奥里导航在清华大学无障碍发展研究院主办的“青少年与无障碍环境建设”主题展览中面向北京公众展出。2025 年 11 月，奥里导航入选在辅助技术公司 Envision Technologies 举办的“包容性创新”行业活动中进行展示，现场观众包括 100 余名用户、行业从业者与研究人员。我们在活动中收集到了来自本地用户关于隐私保护、本地基础建设等的宝贵反馈，并与 Envision、Sensotec 等业内公司建立了合作关系，相关活动视频片段在网络平台上的播放量已超过 2000 次。12 月，奥里导航在北京中学“构建未来理想学校”国际研讨会上作为学生项目面向现场超过 800 名各界专家展示，并获得《新闻晚高峰》《新京报》的报导。近期，奥里导航的 iOS 公测版本已正式上线 App Store，在为期两个月的首次公开测试中获得了来自全球 5 个国家的 334 名用户。

尽管第一阶段已经初步将一些重要的导航功能整合进了一项手机应用中，但第一阶段的系统原型离完整的“门到门”导航仍有一段距离。就功能本身而言，现阶段的障碍物识别还缺少更明确的方向与距离表达，用户虽然知道前方存在风险，却还不能总是迅速判断障碍具体位于哪个方向、还剩多远；红绿灯相关功能也还需要补充面向红绿灯的自动定向能力，减少用户在路口自行寻找识别角度的负担；此外，盲道识别、入口导航等功能尚未加入，使得用户在导航中的特定任务仍不能受到完整支持；最后，奥里导航软件仍然只能在 iOS 平台上运行，缺乏对视障人士普遍使用的 Android 系统的支持。因此，我们计划开展奥里导航的第二阶段研发工作，目标为基本通过奥里导航实现“门到门”导航。

4. 第二阶段研发计划

4.1. 基本情况

奥里导航项目第二阶段研发的总体目标，是在第一阶段原型系统的基础上，进一步补足其尚未完成的关键环节，提升软件在真实道路环境中可用性，基本实现“门到门”导航。

第二阶段研究周期拟定为 2026 年 4 月至 2026 年 9 月，共 6 个月。本阶段的工作将围绕两个重点展开：一是继续推进软件功能开发，二是在真实场景中开展面向产品优化的用户测试，通过测试结果持续改进导航体验。

4.2. 软件开发

第二阶段的软件开发工作主要包括两个方面：一是扩展软件平台，二是增加关键功能。

首先，计划于 2026 年 4 月完成奥里导航 Android 版的开发。当前奥里导航仅支持 iOS 平台，而中国相当一部分视障人士使用 Android 平台手机。这一平台限制使测试对象覆盖范围有限，也不利于后续推广。完成 Android 版开发后，奥里导航将能面向更广泛的视障用户开展测试与优化，为实际应用打下基础。

其次，计划于 2026 年 5 月至 6 月集中开发以下三项关键功能：

- 盲道识别。在第一阶段中，用户已经能够获得路线引导、过马路辅助和障碍物提示，但根据用户反馈，软件尚不能直接识别盲道，影响了需要使用盲道的用户的出行。第二阶段拟新增盲道识别功能，使软件能够在真实道路环境中判断用户是否处于盲道附近、盲道大致延伸方向为何，帮助用户判断盲道位置。该功能的加入，有助于解决较窄、较浅的盲道易发生偏移的问题，改善用户的出行体验。
- 更精确的过马路辅助。第一阶段已经实现了一定程度的过马路支持，但在红绿灯方向指引、路口指引精确性上仍存在不足。第二阶段拟重点提升过马路辅助功能，使软件能够更准确地判断每一个路口的起点与终点，并且更准确地指引用户正确面向红绿灯位置。该功能关系到软件在高风险路口环境中的实际效果，也是实现“门到门”导航过程中最重要的环节之一。
- 入口识别。现有导航产品普遍能够将用户带到目的地附近，却较难解决最后数十米如何到达具体入口的问题。第二阶段拟新增入口识别功能，使软件能够更准确地识别建筑物、地点或小区的入口位置，在用户接近目的地后提供最后一段的精确提示。该功能对于实现真正意义上的“门到门”导航中实现入口级导航具有决定性作用。

为完成上述软件开发任务，项目组在第二阶段需要获得两方面支持。

- 技术支持。第二阶段将涉及盲道图像识别、入口识别等新功能开发。这些功能存在机器学习、用户反馈、寻路算法等方面的技术难点，因此需要与具备相关经验的软件工程师或技术团队对接，在图像识别、反馈实现等方面获得技术帮助。
- 数据支持。第二阶段的软件开发需要更精细的空间数据支持，包括建筑物入口、地点入口，路口、红绿灯位置，以及斑马线起点和终点等信息。当前能够获取的公开地图数据在精细程度上尚不足以支持面向视障人士的高精度导航，而腾讯地图、高德地图等地图厂商在产品开发中已经收集这类精细数据，但尚未公开。因此，第二阶段需要争取从相关地图厂商处获得更高精度的空间数据支持，提升新功能的技术可行性。

4.3. 软件测试

在完成上述开发后，第二阶段将于 2026 年 8 月至 9 月 开展软件测试工作。测试地点拟定为北京市朝阳区东坝地区，计划邀请 50 名视障测试用户参与测试。

测试工作主要面向产品优化进行，通过让用户在真实路线中使用软件，观察其实际表现，收集具体问题与改进建议，并据此进一步优化软件功能与交互方式。测试路线拟统一设置为从北岗子公交站到坝鑫家园南门的路线。统一测试路线能够确保使用场景相似，从而便于比较不同用户使用过程中遇到的问题。该路线同时具有一定代表性，能够覆盖视障人士在真实步行中常见的若干关键情境，例如人行道通行、转向、过马路、盲道断裂、接近入口等。

在测试实施过程中，参与用户将使用奥里导航完成上述路线。测试时，用户可以在行走过程中即时提出意见或指出问题；同时，现场将安排志愿者进行陪同观察和记录。测试结束后，还将对参与用户集中收集反馈，以了解他们对整体导航体验的评价。

为了完成第二阶段测试工作，需要获得东坝乡政府的协助，帮助联系本地视障测试用户。由于当前团队与视障群体的直接接触渠道较为有限，若能借助地方政府力量，将有助于覆盖更多不同年龄、不同出行习惯和不同需求类型的视障人士，从而使测试结果更具有代表性。

参考文献

中国信息无障碍产品联盟. (2016). 中国互联网视障用户基本情况报告. https://capa.run/static/image/img_media/中国互联网视障用户基本情况报告.pdf

Bhowmick, A., Prakash, S., Bhagat, R., Prasad, V., & Hazarika, S. M. (2014). IntelliNavi: Navigation for Blind Based on Kinect and Machine Learning. In Multi-disciplinary Trends in

Artificial Intelligence (pp. 172-183). Springer International Publishing.
10.1007/978-3-319-13365-2_16

Bourbakis, N.G., & Kavradi, D. (2001). An intelligent assistant for navigation of visually impaired people. In Proceedings of the 2nd Annual IEEE International Symposium on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE 2001) (pp. 230-235). IEEE. 10.1109/BIBE.2001.974434

Hoang, V.-N., Nguyen, T.-H., Le, T.-L., Tran, T.-T. H., Vuong, T.-P., & Vuillerme, N. (2015). Obstacle detection and warning for visually impaired people based on electrode matrix and mobile Kinect. In 2015 2nd National Foundation for Science and Technology Development Conference on Information and Computer Science (NICS) (pp. 54-59). IEEE. 10.1109/NICS.2015.7302222

Huang, H.-C., Hsieh, C.-T., & Yeh, C.-H. (2015). An Indoor Obstacle Detection System Using Depth Information and Region Growth. *Sensors*, 15(10), 27116-27141. 10.3390/s151027116

Ito, K., Okamoto, M., Akita, J., Ono, T., Gyobu, I., Takagi, T., Hoshi, T., & Mishima, Y. (2005). CyARM: an alternative aid device for blind persons. In CHI '05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (pp. 1483-1488). ACM. 10.1145/1056808.1056947

Khenkar, S., Alsulaiman, H., Ismail, S., Fair, A., Jarraya, S. K., & Ben-Abdallah, H. (2016). ENVISION: Assisted Navigation of Visually Impaired Smartphone Users. *Procedia Computer Science*, 100, 128-135. 10.1016/j.procs.2016.09.132

Kuriakose, B., Shrestha, R., & Sandnes, F. E. (2023). DeepNAVI: A deep learning based smartphone navigation assistant for people with visual impairments. *Expert Systems with Applications*, 212, 118720. 10.1016/j.eswa.2022.118720

Martinez-Cruz, S., Morales-Hernandez, L. A., Perez-Soto, G. I., Benitez-Rangel, J. P., & Camarillo-Gomez, K. A. (2021). An Outdoor Navigation Assistance System for Visually Impaired People in Public Transportation. *IEEE Access*, 9, 130767-130777. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9534900/>

Mataro, T. V., Masulli, F., Rovetta, S., Cabri, A., Traverso, C., Capris, E., & Torretta, S. (2017). An assistive mobile system supporting blind and visual impaired people when are outdoor. In Proceedings of the 2017 IEEE 3rd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry (RTSI) (pp. 1-6). IEEE. 10.1109/RTSI.2017.8065886

National Bureau of Statistics, People's Republic of China. (2023). National Data. Retrieved March 13, 2026, from <https://data.stats.gov.cn>

Peng, E., Pursue, P., Li, L., & Venkatesh, S. (2010). A Smartphone-Based Obstacle Sensor for the Visually Impaired. *Ubiquitous Intelligence and Computing*, 6406, 590-604.
10.1007/978-3-642-16355-5_45

Ran, L., Helal, S., & Moore, S. (2004). Drishti: an integrated indoor/outdoor blind navigation system and service. In Proceedings of the Second IEEE Annual Conference on Pervasive Computing and Communications (pp. 23-30). IEEE. 10.1109/PERCOM.2004.1276842

Schwarze, T., Lauer, M., Schwaab, M., Romanovas, M., Böhm, S., & Jürgensohn, T. (2016). A Camera-Based Mobility Aid for Visually Impaired People. *KI - Künstliche Intelligenz*, 30(1), 29-36. 10.1007/s13218-015-0407-7

Velázquez, R., Pissaloux, E., Rodrigo, P., Carrasco, M., Giannoccaro, N., & Lay-Ekuakille, A. (2018). An Outdoor Navigation System for Blind Pedestrians Using GPS and Tactile-Foot Feedback. *Applied Sciences*, 8(4), 578. 10.3390/app8040578

Wang, C., Zhou, Y., Liao, Y., & Chen, Y. (2025). Current Status and Optimization Strategies of Accessible Environments for Visually Impaired Individuals in China. *Journal of Chinese Urban Forestry*, 23(5), 46-54. 10.12169/zgcsly.2025.09.15.0003