



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109543882 A
(43)申请公布日 2019.03.29

(21)申请号 201811243915.X

(22)申请日 2018.10.24

(71)申请人 上海市政工程设计研究总院(集团)
有限公司

地址 200092 上海市杨浦区中山北二路901
号

(72)发明人 高克林 王重元

(74)专利代理机构 上海世圆知识产权代理有限
公司 31320

代理人 陈颖洁

(51)Int.Cl.

G06Q 10/04(2012.01)

G06Q 10/06(2012.01)

G06Q 50/26(2012.01)

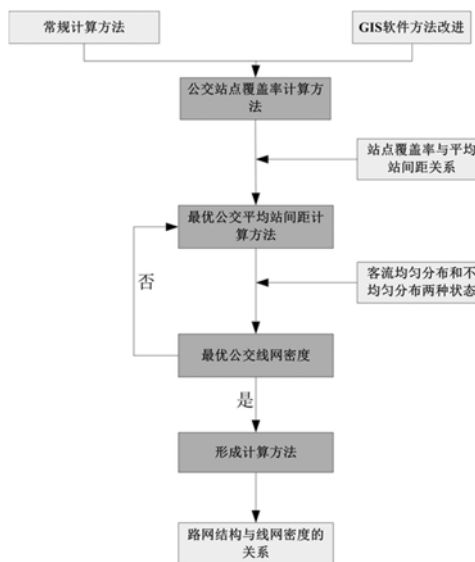
权利要求书1页 说明书11页 附图4页

(54)发明名称

一种基于最优公交平均站间距的公交线网
密度计算方法

(57)摘要

本发明提供一种基于最优公交平均站间距的公交线网密度计算方法,通过GIS软件优化公交站点覆盖率计算方法,然后寻找公交线网站点覆盖率与平均站间距之间的关系,推导最优平均站间距计算公式,基于站点覆盖率和平均站间距的研究,优化公交线网密度计算方法,最后厘清路网结构与线网密度的关系。此专利可以优化、指导公交线网评价指标,提升、改善公交线网布局方法。



1. 一种基于最优公交平均站间距的公交线网密度计算方法,其特征在于,包含以下步骤:

步骤S1、首先利用GIS软件,获得公交站点覆盖率的计算方法;

步骤S2、研究站点覆盖率与平均站间距之间的关系,分不同情况构建不同公式,通过站点覆盖率的要求对平均站间距提出合理区间值;

步骤S3、通过不同线路长度、不同平均乘距对最优平均站间距的影响分析,得到最优平均站间距;

步骤S4、基于乘客出行时间最小的目标,计算最优公交线网密度。

2. 如权利要求1所述的一种基于最优公交平均站间距的公交线网密度计算方法,其特征在于,步骤S2中,假设公交线网平均间距为1,站点服务半径为r,线格内站点服务覆盖区域为 S_r ,则站点覆盖率 $f = S_r/1^2$,确定300m覆盖率不低于70%,500m覆盖率不低于100%时公交线网平均间距和平均站间距。

3. 如权利要求1所述的一种基于最优公交平均站间距的公交线网密度计算方法,其特征在于,步骤S3中,根据以下公式计算最优平均站间距

$$\frac{\partial T}{\partial N} = \frac{Q}{v_p L} \left(\frac{D}{2} \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + a^2} + \frac{a^2}{2} \ln \frac{2\left(\frac{D}{2}\right)^2 + a^2 + D\sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + a^2}}{a^2} \right) + \frac{Q}{v_p D} \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + a^2} \cdot \frac{-L}{(N-1)^2} + Q\alpha t_c + Q\alpha t_A = 0$$

其中T为乘客总出行时间,N为站点数量, $N \geq 2$,Q为线路客流, v_p 为乘客步行速度,L为线路总长,D为站间距,a为公交线路与客流分布间距, α 为线路平均乘距与线路总长比值, t_c 为每站清空时间(重新汇入车道延误), t_A 为每次加减速损失时间。

4. 如权利要求1所述的一种基于最优公交平均站间距的公交线网密度计算方法,其特征在于,步骤S4中,根据以下公式计算最优公交线网密度

$$\alpha A \mu (t_c + t_A) \delta^3 + \left(\frac{A \mu}{W v_1} + \frac{\alpha A \mu}{v_1} \right) \delta^2 - \frac{2}{v_p} = 0$$

其中 α 为线路平均乘距与线路总长比值,A为公交线网服务的区域面积, μ 为线路重复系数, t_c 为每站清空时间(重新汇入车道延误), t_A 为每次加减速损失时间, δ 为公交线网密度,W为公交车辆数, v_1 为公交运营速度, v_p 为乘客步行速度。

一种基于最优公交平均站间距的公交线网密度计算方法

技术领域

[0001] 本发明适用于交通规划领域,涉及一种基于最优公交平均站间距的公交线网密度计算方法。

背景技术

[0002] 近年来,随着城市交通拥堵的愈发严重,公共交通愈发的受到重视,公共交通规划实施、公交线网规划布局的指导性、科学性等显得尤为重要。

[0003] 公交站点覆盖率、平均站间距、公交线网密度等公交线网关键指标,由于目前国家规范施行时间较长,关键指标的适应性有待进一步提升。

[0004] 公交站点覆盖率是衡量公交总体发展水平及出行便捷性的重要指标。公交站点覆盖率亦称公交站点服务面积率。站点覆盖率是指公交站点服务覆盖面积占城市建成区面积的百分比。常规计算方法即以公交站点为圆心,用合理的步行距离(分别取300米、500米)为服务半径作圆,计算其覆盖面积以及城市建成区面积,则公交覆盖率的计算式为

$$[0005] \quad f = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{A}$$

[0006] 式中, a_i 为第*i*个公交站点的覆盖面积; n 为公交站点数量; A 为城市建成区面积,即在城市面积中除去未开发及在技术上不适合公共交通服务的面积。

[0007] 常规的站点覆盖率计算原理相对简单,可归结为多个圆叠加后的面积求和计算问题。但是在实际项目中操作,遇到的问题远不止如此理想化。首先面积求和不是所有覆盖面积的代数和,而是几何合并后的面积;覆盖面积超过建成区范围的部分也应扣除;覆盖面积容易形成不规则多边形,计算难度加大。

发明内容

[0008] 本发明的目的在于提供一种基于最优公交平均站间距的公交线网密度计算方法,以提升、改善公交线网布局方法。

[0009] 为了实现上述目的,本发明的技术方案如下:一种基于最优公交平均站间距的公交线网密度计算方法,其特征在于,包含以下步骤:

[0010] 步骤S1、首先利用GIS软件,获得公交站点覆盖率的计算方法;

[0011] 步骤S2、研究站点覆盖率与平均站间距之间的关系,分不同情况构建不同公式,通过站点覆盖率的要求对平均站间距提出合理区间值;

[0012] 步骤S3、通过不同线路长度、不同平均乘距对最优平均站间距的影响分析,得到最优平均站间距;

[0013] 步骤S4、基于乘客出行时间最小的目标,计算最优公交线网密度。

[0014] 进一步地,步骤S2中,假设公交线网平均间距为1,站点服务半径为*r*,线格内站点服务覆盖区域为*S_r*,则站点覆盖率 $f = S_r/1^2$,确定300m覆盖率不低于70%,500m覆盖率不低

于100%时公交线网平均间距和平均站间距。

[0015] 进一步地,步骤S3中,根据以下公式计算最优平均站间距

$$[0016] \quad \frac{\partial T}{\partial N} = \frac{Q}{v_p L} \left(\frac{D}{2} \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + a^2} + \frac{a^2}{2} \ln \frac{2\left(\frac{D}{2}\right)^2 + a^2 + D\sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + a^2}}{a^2} \right) + \frac{Q}{v_p D} \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + a^2} \cdot \frac{-L}{(N-1)^2} + Q\alpha t_C + Q\alpha t_A = 0$$

[0017] 其中T为乘客总出行时间,N为站点数量, $N \geq 2$,Q为线路客流, v_p 为乘客步行速度,L为线路总长,D为站间距,a为公交线路与客流分布间距, α 为线路平均乘距与线路总长比值, t_C 为每站清空时间(重新汇入车道延误), t_A 为每次加减速损失时间。

[0018] 进一步地,步骤S4中,根据以下公式计算最优公交线网密度

$$[0019] \quad \alpha A \mu (t_C + t_A) \delta^3 + \left(\frac{A \mu}{W v_1} + \frac{\alpha A \mu}{v_1} \right) \delta^2 - \frac{2}{v_p} = 0$$

[0020] 其中 α 为线路平均乘距与线路总长比值,A为公交线网服务的区域面积, μ 为线路重复系数, t_C 为每站清空时间(重新汇入车道延误), t_A 为每次加减速损失时间, δ 为公交线网密度,W为公交车辆数, v_1 为公交运营速度, v_p 为乘客步行速度。

[0021] 本发明的计算方法适用于方格网状的城市路网,其他路网格局的道路需要进行变形、异化处理。

[0022] 本发明通过GIS软件优化公交站点覆盖率计算方法,然后寻找公交线网站点覆盖率与平均站间距之间的关系,推导最优平均站间距计算公式,基于站点覆盖率和平均站间距的研究,优化公交线网密度计算方法,最后厘清路网结构与线网密度的关系。本发明可以优化、指导公交线网评价指标,提升、改善公交线网布局方法。

附图说明

[0023] 图1为本发明的流程图。

[0024] 图2为理想化的公交站点与线网结构。

[0025] 图3为站点加密后理想化的公交站点与线网结构。

[0026] 图4为站间距与乘客总出行时间关系示意图。

[0027] 图5为公交车站分布与均值客流分布示意图。

[0028] 图6为平均乘距、线路总长对平均站间距关系图。

[0029] 图7为不同线路总长下平均站间距和平均乘距与总长比值关系图。

[0030] 图8为不同客流与线路间距下平均站间距和平均乘距与总长比值关系图。

[0031] 图9为公交车站分布与梭形客流分布示意图。

[0032] 图10为理想化公交线网布局。

具体实施方式

[0033] 下面根据本发明的具体实施例对本发明进行详细描述。

[0034] 本发明提供了一种基于最优公交平均站间距的公交线网密度计算方法,利用站点覆盖率、平均站间距、线网密度等三个指标一步步推演的计算,得到最优公交线网密度计算的公式。研究不同情况下站点覆盖率与平均站间距的关系,通道站点覆盖率的规划要求对平均站间距提出合理区间值。通过不同线路长度、不同平均乘距对最优平均站间距的影响分析,得到最优平均站间距。基于乘客出行时间最小,计算最优公交线网密度。

[0035] 1、公交站点覆盖率

[0036] 公交站点覆盖率是衡量公交总体发展水平及出行便捷性的重要指标。公交站点覆盖率亦称公交站点服务面积率。

[0037] (1) 常规计算方法

[0038] 站点覆盖率是指公交站点服务覆盖面积占城市建成区面积的百分比。常规计算方法即以公交站点为圆心,用合理的步行距离为服务半径作圆,计算其覆盖面积以及城市建成区面积,则公交覆盖率的计算式为

$$[0039] \quad f = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{A}$$

[0040] 式中, a_i 为第*i*个公交站点的覆盖面积; n 为公交站点数量; A 为城市建成区面积,即在城市面积中除去未开发及在技术上不适合公共交通服务的面积。

[0041] 站点覆盖率计算原理相对简单,可归结为多个圆叠加后的面积求和计算问题。但是在实际项目中操作,遇到的问题远不止如此理想化。首先面积求和不是所有覆盖面积的代数和,而是几何合并后的面积;覆盖面积超过建成区范围的部分也应扣除;覆盖面积容易形成不规则多边形,计算难度加大。

[0042] (2) GIS软件方法改进

[0043] 以上实际操作问题,不仅对于站点覆盖率计算难度增加,同时人工计算繁琐费时更极易导致计算错误,必须通过信息技术手段加以改进。通过GIS软件平台,改进站点覆盖率的计算方法,实现覆盖率的精确计算与计算结果的可视化显示表达。

[0044] ArcGIS是GIS技术开发的软件平台之一,具有强大的地图制作、空间数据管理、空间分析、空间信息整合、发布与共享的能力。其中ArcGIS for Desktop 是一个集成了众多GIS应用的软件套件,提供用于地理信息的制作和使用。通过ArcGIS for Desktop中空间分析工具可以将公交站点与城市道路、用地等数据转化为地理信息,进行站点覆盖区域的叠加分析。

[0045] (3) 站点合理覆盖区域探讨

[0046] 根据现行的《城市道路交通规划设计规范》(GB 50220-95)中3.3.2条规定,公共汽车站服务面积,以300m半径计算,不得小于城市用地面积的50%;以500m半径计算,不得小于90%。实际项目规划中,规划目标选用更高的站点覆盖率,即达到300m站点覆盖率70%,500m站点覆盖率100%。

[0047] 本节以上的研究正是基于规范中对于站点覆盖率的定义进行的,然而在实际中真正的站点覆盖区域可能并非规范中的自然站点覆盖区域。通过ArcGIS for Desktop中输入

的矢量信息,以公交站点为中心,300m或500m步行距离为最大搜索距离,从而得出更为贴近实际的站点覆盖情况。因为根据实际情况,通过最短距离直接穿越地块的可能性较低,大部分情况还是通过道路网作为主要路径,导致实际的覆盖面积可能小于自然站点覆盖面积。

[0048] 另外,现行的公交站点覆盖率仅仅从空间上表示覆盖区域,但实际上对于不同的人口、岗位分布的情况并没有考虑。人口、岗位的覆盖情况更能直接反映公交的服务品质。

[0049] (4) 永嘉公交规划实例

[0050] 通过ArcGIS for Desktop,将永嘉县城的规划用地与规划公交站点等矢量数据输入转为化地理信息,根据规划公交站点以及服务半径进行覆盖区域的叠加分析,得到公交站点覆盖情况的示意图(500m服务半径)。对比发现扣除重叠区域以及非建设区区域的最终站点覆盖情况呈现不规则多边形,如果使用人工计算,无论从效率和精度都无法满足实际操作的要求。使用ArcGIS for Desktop则方便快捷地得到站点覆盖的实际数据与可视化效果。

[0051] (5) 站点覆盖率与平均站间距关系

[0052] 以上对于站点覆盖率的关键技术研究着重于解决实际操作问题,对于公共交通规划有相当重要的现实意义。而本节试图从保证站点覆盖率满足规划要求的前提下,提出公交线网较为合理的站间距。初步探求微观的站点与宏观的线网之间公交规划指标的相互关系。

[0053] 从县城范围来看,由于地区发展较为成熟,其路网结构分布在整体上也相对趋于均匀。公交线网依托于县城路网,会有向路网相似化以及均匀化的倾向。在公交线网为方格网的布局结构中,站点的布局在交叉口附近,实际站点覆盖情况可以从方格线网简化成为单个线格(由线网围合成的小方格),如图2所示。

[0054] 假设公交线网平均间距为 l ,站点服务半径为 r ,线格内站点服务覆盖区域为 S_r ,则站点覆盖率 $f = S_r/l^2$ 。

[0055] 根据计算,当 $r = 300\text{m}$ 时, $l \in (0, 635.55]$,满足 $f \geq 70\%$; $l \in (0, 751.99]$,满足 $f \geq 50\%$ 。当 $r = 500\text{m}$ 时, $l \in (0, 707.11]$,满足 $f = 100\%$; $l \in (0, 896.84]$,满足 $f \geq 90\%$ 。

[0056] 综上,当 $l \in (0, 751.99]$ 时,满足规范要求,即300m覆盖率不低于50%,500m覆盖率不低于90%;当 $l \in (0, 635.55]$ 时,满足现行规划常用指标,即300m覆盖率不低于70%,500m覆盖率不低于100%。平均站间距即为平均线网间距 l ,在平均站间距小于等于635米时,满足站点覆盖率要求。

[0057] 以上情况推导是在站间距与线网平均间距相等的条件下进行的,然而站间距与线网平均间距可能不一致。现假设交叉口站点之间可能有其他站点,如图3所示,在此前基础上加密站点。

[0058] 同样根据之前相同的计算方法,当 $r = 300\text{m}$ 时, $l \in (0, 1069.14]$,满足 $f \geq 70\%$; $l \in (0, 1302.48]$,满足 $f \geq 50\%$ 。当 $r = 500\text{m}$ 时, $l \in (0, 1000]$,满足 $f = 100\%$; $l \in (0, 1399.45]$,满足 $f \geq 90\%$ 。

[0059] 综上,当 $l \in (0, 1302.48]$ 时,满足规范要求,即300m覆盖率不低于50%,500m覆盖率不低于90%;当 $l \in (0, 1000]$ 时,满足现行规划常用指标,即300m覆盖率不低于70%,500m覆盖率不低于100%。平均站间距即为平均线网间距 $l/2$,在平均站间距小于等于500米时,满足站点覆盖率要求。

[0060] 《城市道路交通规划设计规范》(GB 50220-95)中对于公共交通站间距的规定如下“公共汽车与电车站距500~800米(市区线)、800~1000米(郊区线)”,根据上述研究,在站点覆盖率指标提升的情况下,对平均站间距也有新的要求,具体如下:小于等于635米或500米,鉴于对路网密度要求的提高,推荐采用平均站间小于等于635米。站点覆盖率指标逐渐从对建设用地的覆盖要求转变为对人口、岗位的覆盖要求。

[0061] 2、公交平均站间距

[0062] 公交站点的数量与间距是公交系统一项十分重要的评价指标,明显的影响着公交车辆的运营速度、线路的发车间隔、配车数和线路运载能力,是影响乘客乘车便利程度、车辆运营速度和公交运营调度计划的重要因素。合理的公交站间距能有效提高公交的性能。

[0063] 由于站点间距问题的复杂性,以及合理的站间距带来十分显著的经济和社会效益,本研究使用基于公交乘客总出行时间最小对平均站间距进行初步的探讨。

[0064] 对于公交乘客总出行时间包括车外时间和车内时间,车外时间包括始发地步行至车站、候车时间以及下车步行至目的地,车内时间包括车辆运行时间以及站点各项延误。

[0065] (1)符号说明

[0066] 表1符号说明表

[0067]

符号	含义	单位
L	线路总长	m
L_D	线路平均乘距	m
α	线路平均乘距与线路总长比值	-
Q	线路客流	人次
N	站点数量 $N \geq 2$	个
D	站间距 $D = L / (N - 1)$	m
t_D	每站停靠延误	s
t_C	每站清空时间(重新汇入车道延误)	s
t_A	每次加减速损失时间	s
t_P	乘客步行至每个车站时间总和	s
t_W	乘客平均候车时间	s
g	公交发车间隔	s
v_0	公交运营速度	m/s
v_P	乘客步行速度	m/s
ρ	客流分布密度	人/m
T	乘客总出行时间	s
a	公交线路与客流分布间距	m
k	平均上车时间	s
T_D	总停靠延误	s
T_C	总清空时间	s
T_A	总加减速损失时间	s
T_P	总步行时间	s

T_W	总候车时间	s
T_R	总运行时间	s

[0068] (2) 基本假设条件

[0069] ➤ 公交车辆加减速距离远小于站间距；

[0070] ➤ 不考虑进站失败率；

[0071] ➤ 不考虑交叉口延误；

[0072] ➤ 上车时间大于下车时间。

[0073] ➤ 上车前、下车后步行时间一致

[0074] (3) 最优平均站间距计算推导

[0075] 先假定客流均值分布 $\rho = \frac{Q}{L}$ ，同时虚线表示客流被站点划分的界线。

[0076] $T_P = \frac{L}{D} \cdot t_p$ ，乘客与车站间步行时间；

[0077] $T_W = Q \cdot \frac{g}{2}$ ，乘客随机到达，平均候客时间可认定为发车间隔的一半；

[0078] $T_D = Q \cdot \frac{L_D}{D} \cdot t_D$ ， $T_C = Q \cdot \frac{L_D}{D} \cdot t_C$ ， $T_A = Q \cdot \frac{L_D}{D} \cdot t_A$ ， $T_R = Q \cdot \frac{L_D}{v_0}$ ，以上车内时间使用平均乘距得到乘客在公交车辆上行驶过的站点数量

[0079]

$$T = T_P + T_W + T_D + T_C + T_A + T_R$$

$$= \frac{L}{D} \cdot t_p + Q \cdot \frac{g}{2} + Q \cdot \frac{L_D}{D} \cdot t_D + Q \cdot \frac{L_D}{D} \cdot t_C + Q \cdot \frac{L_D}{D} \cdot t_A + Q \cdot \frac{L_D}{v_0}$$

$$= (N-1) \frac{2\rho}{v_p} \int_0^L \sqrt{x^2 + a^2} dx + Q \cdot \frac{g}{2} + Q^2 \alpha k + Q \alpha (N-1) t_C + Q \alpha (N-1) t_A + Q \cdot \frac{\alpha L}{v_0}$$

[0080] 总出行时间T最小，对T求N偏导，使得 $\frac{\partial T}{\partial N} = 0$ ，故得到最优站间距。

[0081]

$$\frac{\partial T}{\partial N} = \frac{2Q}{Lv_p} \left[\frac{L}{4(N-1)} \sqrt{\left(\frac{L}{2(N-1)}\right)^2 + a^2} + \frac{a^2}{2} \ln \left(\frac{L}{2(N-1)} + \sqrt{\left(\frac{L}{2(N-1)}\right)^2 + a^2} \right) - \frac{a^2}{2} \ln a \right]$$

$$+ (N-1) \frac{2Q}{Lv_p} \sqrt{\left(\frac{L}{2(N-1)}\right)^2 + a^2} \cdot \frac{L}{2} \left(-\frac{1}{(N-1)^2} \right) + Q \alpha t_C + Q \alpha t_A = 0$$

[0082] 由公式看出，平均站间距主要跟L(线路总长)、LD(线路平均乘距)、a(公交线路与客流分布间距)、Q(线路客流) 相关。

[0083] (4) 结果分析

[0084] 由于变量较多，一些变量可以使用实际常用值固定为常量，同时也方便主要影响变量对于平均站间距的识别及影响敏感度。

[0085] 其中清空时间一般在9~20s之间,通常取10s,即 $t_c=10s$;公交车辆启动加速度为 $a_1=1m/s^2$,制动加速度 $a_2=2m/s^2$,则每次加减速损失时间为 $t_A=7.5s$;取公交车辆行驶速度 $v_0=10m/s$,乘客步行速度 $v_P=1m/s$;公交线路与客流分布间距 $a=100m$;线路客流 $Q=300$ 人次。

[0086] 根据以上计算条件,得出平均乘距、线路总长、平均站间距三维关系图,如图6所示。从图示可以发现尽管线路总长变化程度很大,计算了从8~20km不同的线路长度,但是当平均乘距固定时,平均站间距也是基本固定的,仅会出现小幅浮动。进一步可以得到如下表。

[0087] 表2公交线路最优平均站间距推荐值(给定计算条件下)

[0088]

平均乘距 (km)	最优平均站间距 (m)
1	318
2	424
3	502
4	574
5	636
6	694
7	741
8	791
9	833
10	875
11	917
12	945
13	1000

[0089] 随着平均乘距的增大,最优平均站间距也不断增大,但增长趋势逐渐放缓, $\alpha=0.7$ 左右基本达到一个相对稳定值。

[0090] 在研究公交线路与客流分布间距 a 时,固定其他变量,得到了如图7的关系图。当间距较少时车外时间所占比重变小(步行时间缩短),相应车内时间增加,线路与客流分布间距越小,平均站间距也相应变小。反之亦然。

[0091] 以上结论都是在客流分布是均值的情况下计算得出的,实际客流分布不可能达到如此理想的状态,通常会呈现客流密度上下波动的情况,出现部分区域客流密度较高。故下面面对这种情况进行试算。

[0092] 此时,客流密度的表达式发生了变化,如下式表达,

$$[0093] \quad Q = \frac{1}{2}bL, \rho = \begin{cases} \frac{2bx}{L} = \frac{4Q}{L^2}x, x \in \left[0, \frac{L}{2}\right] \\ -\frac{2bx}{L} + 2b = -\frac{4Q}{L^2}x + \frac{4Q}{L}, x \in \left(\frac{L}{2}, L\right] \end{cases}$$

[0094] N 的取值可能会出现奇数与偶数不同的对应情况,分别进行计算。

[0095] N 为奇数时,

$$\begin{aligned}
T &= T_P + T_W + T_D + T_C + T_A + T_R \\
[0096] \quad &= \frac{2}{v_P} \sum_{M=1}^{(N-1)/2} \int_{\frac{(M-1)L}{N-1}}^{\frac{ML}{N-1}} \sqrt{\left(\frac{(2M-1)L}{2(N-1)} - x\right)^2 + a^2} \cdot \frac{4Q}{L^2} x dx \\
&\quad + Q \cdot \frac{g}{2} + Q^2 \alpha k + Q \alpha (N-1) t_C + Q \alpha (N-1) t_A + Q \cdot \frac{\alpha L}{v_0}
\end{aligned}$$

[0097] N为偶数时，

$$\begin{aligned}
T &= T_P + T_W + T_D + T_C + T_A + T_R \\
[0098] \quad &= \frac{2}{v_P} \left[\sum_{M=1}^{(N-2)/2} \int_{\frac{(M-1)L}{N-1}}^{\frac{ML}{N-1}} \sqrt{\left(\frac{(2M-1)L}{2(N-1)} - x\right)^2 + a^2} \cdot \frac{4Q}{L^2} dx + \int_{\frac{(N-2)L}{2}}^{\frac{L}{2}} \sqrt{\left(\frac{L}{2} - x\right)^2 + a^2} \cdot \frac{4Q}{L^2} dx \right] \\
&\quad + Q \cdot \frac{g}{2} + Q^2 \alpha k + Q \alpha (N-1) t_C + Q \alpha (N-1) t_A + Q \cdot \frac{\alpha L}{v_0}
\end{aligned}$$

[0099] 同样方法，为求得最小出行时间，对T求N偏导，使得 $\frac{\partial T}{\partial N} = 0$ ，得到最优平均站间距。

得出不管是N为奇数或偶数，最终表达式可以统一。

$$\begin{aligned}
[0100] \quad \frac{\partial T}{\partial N} &= \frac{Q}{v_P L} \left(\frac{D}{2} \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + a^2} + \frac{a^2}{2} \ln \frac{2\left(\frac{D}{2}\right)^2 + a^2 + D \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + a^2}}{a^2} \right) \\
&\quad + \frac{Q}{v_P D} \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + a^2} \cdot \frac{-L}{(N-1)^2} + Q \alpha t_C + Q \alpha t_A = 0
\end{aligned}$$

[0101] 此时发现该表达式与客流均值分布时相同，可以得出：在该算法下，客流总量Q及其他条件不变时，客流密度分布不影响平均站间距结果。

[0102] 3、公交线网密度

[0103] 公交线网密度是在每平方千米城市用地面积上有公共交通线路经过的道路中心线长度，该指标反映了居民接近公交线路的程度，是公交规划的关键技术指标。

[0104] 通过上述章节对于公交站点覆盖率、平均站间距的研究，现将算法向线网密度推广。

[0105] (1) 符号说明

[0106] 表3符号说明表

[0107]

符号	含义	单位
L_R	公交线路总里程	km
L_D	平均乘距	km
L_P	步行距离	m

α	线路平均乘距与线路总里程比值	-
t_D	每站停靠延误	s
t_C	每站清空时间(重新汇入车道延误)	s
t_A	每次加减速损失时间	s
g	公交发车间隔	s
v_1	公交运营速度	m/s
v_P	乘客步行速度	m/s
ϵ	客流分布密度	人/km ²
T	乘客总出行时间	s
k	平均上车时间	s
T_D	总停靠延误	s
T_C	总清空时间	s
T_A	总加减速损失时间	s
T_P	总步行时间	s
T_W	总候车时间	s
T_R	总运行时间	s
δ	公交线网密度	km/km ²
l	公交线网平均间距	m
A	公交线网服务的县城面积	km ²
μ	线路重复系数	
W	公交车辆数	辆

[0108] (2) 基本假设条件

[0109] ▶路网、公交线网均为方格网状；

[0110] ▶站间距等于公交线网平均间距；

[0111] ▶乘客步行路径只能沿路网；

[0112] ▶其他假设条件与平均站间距一致

[0113] (3) 最优公交线网密度计算推导

[0114] 基于乘客出行时间最小,构建公交线网密度计算模型。

[0115] $T_P = 2 \frac{L_P}{v_P} = \frac{l}{v_P} = \frac{2}{\delta v_P}$, 县城平均步行距离为 $l/2$;

[0116] $T_W = \frac{g}{2} = \frac{2L_R / Wv_1}{2} = \frac{L_R}{Wv_1}$, 平均候车时间为发车间隔的一半,考虑车辆回转;

[0117] $T_C + T_A + T_D = \frac{L_D}{l} (t_C + t_A + t_D) = \frac{\alpha L_R}{l} (t_C + t_A + k\epsilon l^2)$, $T_R = \frac{L_D}{v_1} = \frac{\alpha L_R}{v_1}$, 以上车内时

间使用平均乘距得到乘客在公交车辆上行驶过的站点数量

$$\begin{aligned}
 T &= T_P + T_W + T_D + T_C + T_A + T_R \\
 [0118] \quad &= \frac{2}{\delta v_P} + \frac{L_R}{W v_1} + \frac{\alpha L_R}{l} (t_C + t_A + k \varepsilon l^2) + \frac{\alpha L_R}{v_1} \\
 &= \frac{2}{\delta v_P} + \frac{A \delta \mu}{W v_1} + \alpha A \delta \mu \left(\frac{\delta t_C}{2} + \frac{\delta t_A}{2} + k \varepsilon \frac{2}{\delta} \right) + \frac{\alpha A \delta \mu}{v_1}
 \end{aligned}$$

[0119] 使得T最小,对T求 δ 偏导, $\frac{\partial T}{\partial \delta} = 0$,得到下式

$$[0120] \quad \frac{2}{v_P} \left(-\frac{1}{\delta^2} \right) + \frac{A \mu}{W v_1} + \alpha A \delta \mu (t_C + t_A) + \frac{\alpha A \mu}{v_1} = 0$$

$$[0121] \quad \alpha A \mu (t_C + t_A) \delta^3 + \left(\frac{A \mu}{W v_1} + \frac{\alpha A \mu}{v_1} \right) \delta^2 - \frac{2}{v_P} = 0, \text{最终得到最优公交线网密度} [\delta]$$

[0122] (4) 最优公交线网密度试算

[0123] 考虑县城城区规模、方格网状公交线网特征,根据上述最优公交线网密度公式,对相关变量进行科学赋值,计算最优公交线网密度。

[0124] 表4变量赋值表

[0125]

符号	赋值	单位
L_R	600	km
L_D	4.8	km
α	0.008	-
t_C	10	s
t_A	7.5	s
v_1	7.0	m/s
v_P	1.0	m/s
A	40	km^2
μ	1.5	
W	630	辆

[0126] 根据计算,最优公交线网密度 $[\delta] = 4.14$,一方面由于道路网密度的提升,很多地区已经把道路网密度标准由7公里/平方公里提升至10公里/平方公里;另一方面由于站点覆盖率要求的提高,也会有加密公交线网的需求,故公交线网密度在2~2.5、3~4公里/平方公里的基础上也有一定程度的提升。

[0127] (5) 路网结构与线网密度关系

[0128] 城市道路网布局结构指组成道路网的各条道路的空间布局和相互衔接关系,以及由这些地位、功能各不相同的道路根据一定的衔接规则连接而成的整体。公交线网依存于路网,不同的路网结构对于公交线网构建带来不同程度的影响。密集连通的路网布局必然导致可选择布设公交的比率更高。

[0129] 通过建立路网结构与线网密度的关系来评判不同的路网结构是否有利于公交线

网的布局,为公交线网布局规划提供一定的技术支撑。

[0130] 从永嘉的县城公交线网布局与骨干路网布局之间的相似性可以看出,公交线路布设在主干路、次干路的比率较高,说明公交线网密度受到道路密度制约;同时,只有路线连续性和连通度较高的道路适合布置公交线路,说明公交线网密度受到路网集聚度的制约。

[0131] 西南交通大学叶彭姚在《城市道路网布局结构对公交线网密度的影响》中,对于公交线网密度与路网密度以及路网集聚度通过实例进行了回归分析,得到了如下关系式

$$[0132] \quad \delta_N = 0.346 \frac{\delta_L^{0.294} d^{0.597}}{C_B^{-0.248}}$$

[0133] 式中, δ_N 表示公交线网密度(km/km²); δ_L 表示公交线路密度(km/km²);d表示路网密度(km/km²); C_B 表示路网结构集聚度, $C_B \in [0, 1]$,越接近0表示路网越接近方格网状,越接近1表示路网越接近树状。

[0134] 从该关系式中,城市道路网作为公交线网布局的基础设施条件,其布局结构对公交线网密度有明显的影响。路网密度越大,可能的公交线网密度也越大。路网集聚度越小,路网中适宜布局公交线路的道路所占的比例也越大。同时也就表明在尽可能的情况,县城道路的规划向高密度、高连通性的网状结构靠拢,从而在路网规划阶段为县城公共交通发展提供基础设施层面的保障。

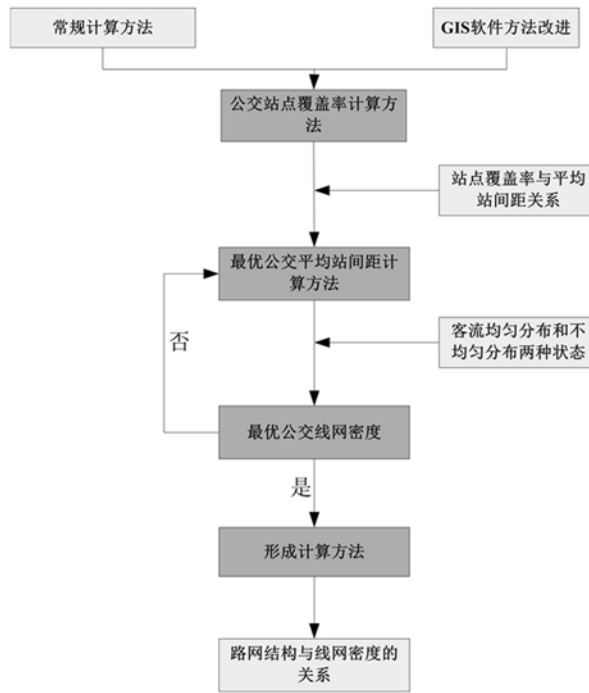


图1

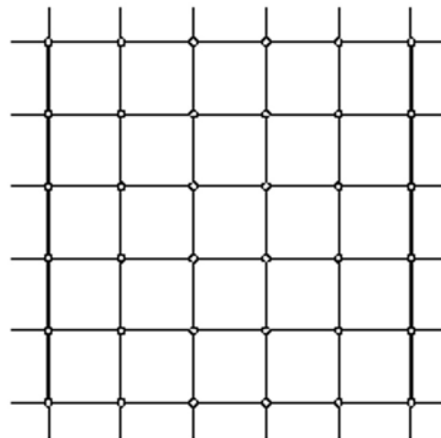


图2

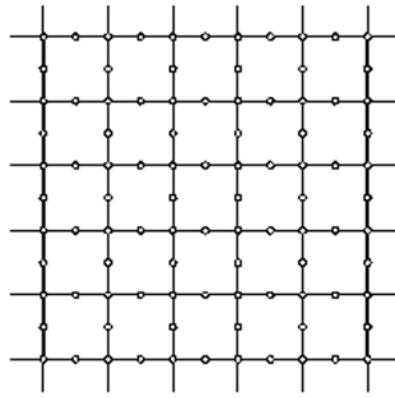


图3

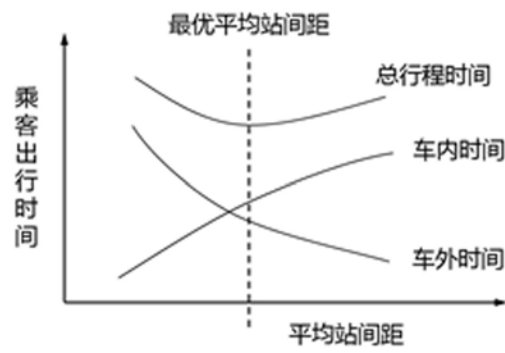


图4

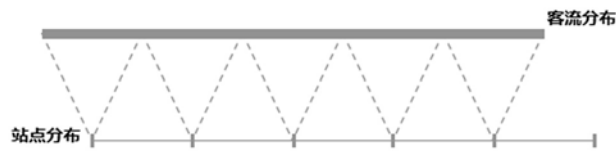


图5

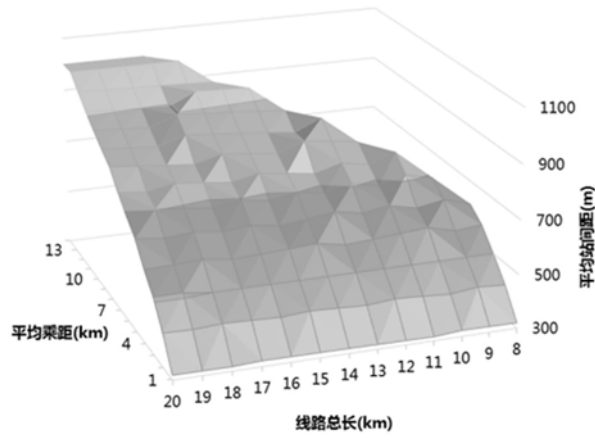


图6

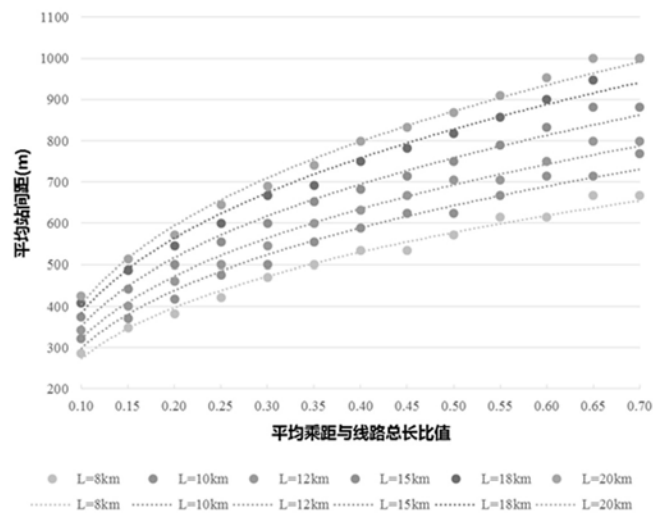


图7

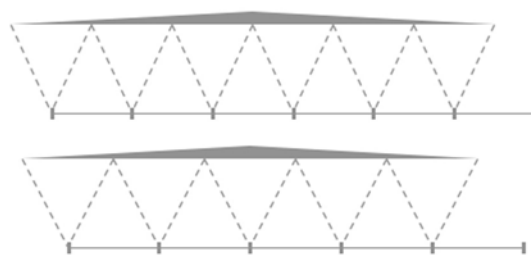


图8

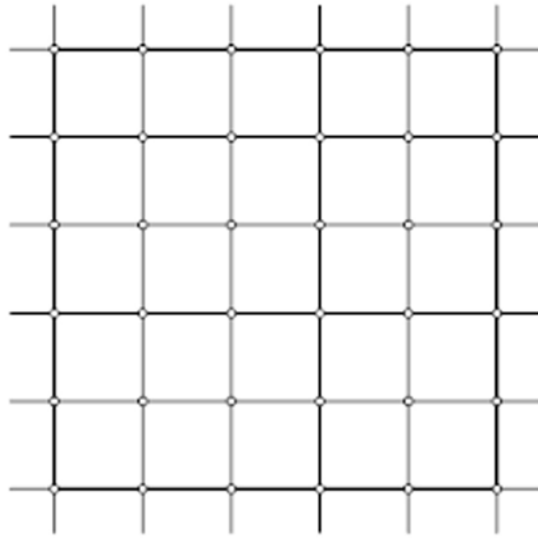


图9

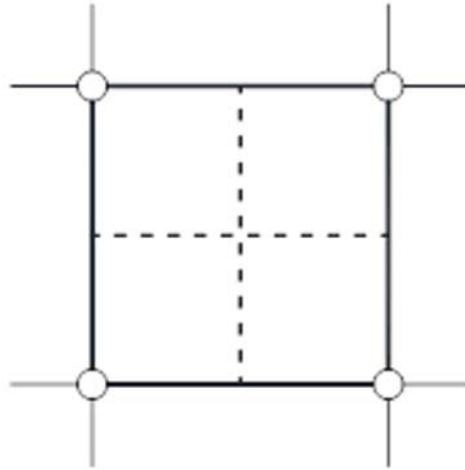


图10