

北京工业大学“211工程”资助项目

非集计模型 —— 交通行为分析的工具

● 关宏志 编著

Disaggregate Model

A Tool of Traffic Behavior Analysis



人民交通出版社
China Communications Press

北京工业大学“211 工程”资助项目

非集计模型

——交通行为分析的工具

关宏志 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

作为最新的交通需求分析方法,近几年,在西方国家,非集计模型(disaggregate model)得到了深入的研究和广泛的应用。随着我国经济建设的深入发展,非集计模型的应用前景日益广阔。

本书介绍了非集计模型的基础理论,2项logit模型、多项logit模型以及嵌套logit模型的建模方法、非集计模型数据的调查方法以及非集计模型的其他应用方法。最后,结合笔者多年的实践,介绍了非集计模型的应用。

本书的读者对象为具有大学或大学以上学历的交通工程专业的工程技术人员,也可供从事社会学、政治学、心理学以及人口学的研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

非集计模型:交通行为分析的工具/关宏志编著.

北京:人民交通出版社,2004.10

ISBN 7-114-05259-6

I.非... II.关... III.交通分析-模型
IV.U491.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第094062号

北京工业大学“211工程”资助项目

书 名:非集计模型

——交通行为分析的工具

著 作 者:关宏志

责任编辑:钱悦良

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)85285656,85285838,85285995

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:三河市海波印务有限公司 一宝日文龙印刷有限公司

开 本:787×960 1/16

印 张:11

字 数:182千

版 次:2004年12月第1版

印 次:2004年12月第1版第1次印刷

书 号:ISBN 7-114-05259-6

印 数:0001-1000册

定 价:20.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

序

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 前言	1
1.2 非集计行为模型的产生	2
1.3 交通需求预测模型的分类	5
1.4 非集计模型的用途及应用前景	7
第 2 章 非集计模型的基础理论	10
2.1 随机效用理论基础	10
2.2 logit 模型的导出	13
2.3 probit 模型的导出	18
2.4 logit 模型与 probit 模型比较	20
2.5 logit 模型与 IIA 特性	22
第 3 章 BL 模型的标定与检验	26
3.1 BL 模型的建模与检验方法	26
3.2 BL 模型的参数估计例题	41
3.3 非线性效用函数 BL 模型	46
第 4 章 ML 模型和 NL 模型的标定与检验	50
4.1 ML 模型的估计和检验	50
4.2 ML 模型实例	56
4.3 NL 模型的估计与检验	60
第 5 章 调查与数据整理	70
5.1 行为调查与意向调查	70
5.2 调查设计	74
5.3 抽样方法及所需样本量	79
5.4 调查方法	84
5.5 服务水平数据	86
5.6 交通行为调查事例概要	88
第 6 章 低频率行为调查及建模方法	91
6.1 前言	91
6.2 抽样方法及特征	91
6.3 选择方案抽样法及有效性分析	94

6.4	替代样本抽出的非集计模型估计方法	96
6.5	选择方案抽样法的注意事项	103
第7章	利用非集计行为模型预测	107
7.1	预测的步骤	107
7.2	预测系统框架及分组	108
7.3	集计问题	110
7.4	模型的可移植性	111
7.5	新替代方案的处理方法	116
7.6	弹性分析	117
第8章	多种数据的非集计分析方法	122
8.1	前言	122
8.2	分选择方案数据的模型估计方法	123
8.3	不同时空数据的模型估计方法	128
8.4	精度已知数据的模型估计方法	131
8.5	利用 SP 数据的模型估计方法	134
8.6	SP 数据和 RP 数据结合的模型估计方法	138
第9章	停车场选择行为模型实例	140
9.1	前言	140
9.2	停车行为调查概要	141
9.3	主要调查结果及考察	143
9.4	停车行为解析方法	146
9.5	小结	150
第10章	利用多种数据建立 P&BR 模型实例	152
10.1	前言	152
10.2	P&BR 实验概要及 ED/SP 数据简介	153
10.3	研究方法简介	154
10.4	建模及考察分析	156
10.5	小结	159
第11章	利用非集计模型估计时间价值实例	160
11.1	前言	160
11.2	以往的研究及本研究的方法	160
11.3	估计方法的应用	163
11.4	小结	165
后计		167

第1章 绪论

1.1 前言

交通需求预测是进行交通规划乃至城市规划、地区规划必不可少的前提,是确保交通规划符合未来发展状况的重要条件。长期以来,人们为有效地预测交通需求进行了不懈的努力,并基于多种理论开发了为数众多的交通需求量预测模型。在当今交通需求预测方法中,应用最广的理论及模型当属于20世纪50年代开发的四阶段预测法。该方法以居民出行调查(person trip survey)为基础,由发生/吸引交通量(trip generation/attraction)、分布交通量(trip distribution)、交通方式划分(modal split)以及交通量分配(traffic assignment)等四个基本阶段组成。直至今日,基于四阶段预测法开发的交通规划软件被广泛使用,四阶段预测法在世界各地的交通需求预测、交通规划中扮演着重要的角色。

进入60年代,随着生产力水平的日益提高,世界上一些较早实现工业化的国家(如:美国、西欧国家以及日本等),相继出现了社会需求多样化,进而导致交通需求多样化的趋势。为此,交通规划的目的、限定的时间范围以及对象范围也呈现多样化的趋势。尽管人们为了适应这种交通需求的多样化,对传统的规划方法以及交通需求预测方法进行了多方面的修正和改进,但是,在理论或逻辑方面,以往那些以集计模型(aggregate model)为基础的交通需求预测方法本身的缺陷还是越来越多地表现出来。在这种背景下,人们开始了用新的理论来代替四阶段预测法的研究工作,直到今天这种努力仍然在继续着。本书所介绍的非集计模型(disaggregate model)的理论、模型以及应用事例就是人们这种努力的产物。

要展开本书的讨论,首先必须明确的是:什么是非集计模型?

非集计模型是非集计分析的产物,而非集计分析则具有强调“没有进行集计的分析”的意味,它主要还是针对传统的、“集计的”四阶段预测法而言的。因此,要明确“非集计”,就有必要明确“集计”的概念。

在传统的交通规划或交通需求预测中,通常首先将对象地区或群体划分成若干个小区(zone)或群体(group)等特定的集合体,然后以这些小区或群体为基本单位,展开问题的讨论。因此,在建立模型或将样本放大时,需

要以这一类的集合体为单位对数据进行集计(aggregate)处理。例如:用小区质心间的距离(时间)表示小区之间的距离(时间)。而这些距离(时间)在很大程度上意味的是两小区之间的平均距离(时间)。此类的例子还有小区的平均出行次数、小区内出行者的平均年龄、小区之间利用某种交通方式的平均所需时间等等。通过上述集计处理得到的数据称为集计数据(aggregate data),而用集计数据所建立的模型称为集计模型。与之相对应,不将样本进行上述的集计或扩大等处理的数据被称为非集计数据(disaggregate data),而以每一个样本为单位,直接利用非集计数据建立的模型即称为非集计模型。集计、非集计两类模型的比较如表 1-1 所示。

集计模型和非集计模型的比较

表 1-1

比较项目	集计模型	非集计模型
调查单位	每个出行	每个出行
分析单位 被说明变量 说明变量	小区 小区集计数据(连续量) 分小区数据	个人(家庭) 个人选择(离散量) 个人数据
预测方法	回归分析等	极大似然估计
适用水平	小区	任意
政策表现	小区代表值的变化	个人的说明变量值的变化
交通现象的描述	发生、吸引 分布交通流 交通方式划分 交通分配	出行频率 目的地选择 交通方式选择 路径选择

由于通常非集计模型所研究的对象是非连续量(离散量),例如:交通方式公共汽车、小轿车及电车等中的某一个,出行路径 1、2、3 中的某一条,目的地 A、B、C 中的某一个等。因此,它又常被称为离散选择模型(discrete choice model)。

以下,首先概述近几年在研究和应用集计模型时发现的问题。在此基础上,明确非集计模型的意义,并简要介绍非集计模型研究、应用现状。

1.2 非集计行为模型的产生

促使人们研究开发非集计行为模型的原因较多。促使人们研究的直接原因是因为人们发现以往的以四阶段预测法为代表的集计模型本身以及在使用中存在着许多问题,这些问题可以概括如下。

1. 四阶段预测法存在的问题

自从 1953 年在美国的底特律 (Detroit) 进行底特律大都市圈交通规划 (Detroit Metropolitan Area Traffic Study, DMATS) 调查以来,通过大量的调查、研究和实践,以居民出行调查为基础的、分四个阶段进行的交通需求预测法成为公认的较为成熟的方法,并且得到了广泛的应用。

以交通需求预测的四个阶段为基础,人们在各个阶段又提出了具体的理论,建立了相应的模型。其中较具有代表性的研究有:福雷塔 (Fratar) 法^[1]、熵 (entropy) 法^[2,3]、机会模型 (opportunity model)^[4]、最短路径探索法以及交通网络均衡理论等等,进入 20 世纪 70 年代,这些理论逐渐趋于成熟。

随着计算机技术的进步,以四阶段预测法为基础的计算机软件包相继问世,这些计算机软件包在许多的规划及研究中得到广泛应用。较为著名的计算机软件包有美国联邦交通局的 UTPS、英国的 TRIPS、澳大利亚的 TRANSPET 等等。在我国以 TranStar 为代表的商业软件也得到广泛的应用。然而,随着上述理论和方法的广泛应用,四阶段预测法本身问题日益显露出来。其中较为明显的问题如下。

(1) 交通方式的划分方法

交通方式的划分方法许多时候是在求出分布交通量 (OD 交通量) T_{ij} (i, j : 出行的起讫点) 后,求出各交通方式的小区段交通量 T_{ij}^m (m : 交通方式)。实际的交通规划中,人们根据现存的数据建立了时间差、时间比等交通方式划分曲线,并且假设未来的交通方式的划分保持不变,根据这些曲线来划分交通方式。与其他的 3 个阶段的方法相比,不仅这些曲线整体缺乏明确的理论依据。而且,“交通方式划分保持不变”这一假设也由于明显不符合客观规律,而受到质疑。

(2) 模型内的交通服务水平变量不协调

一般认为,交通需求是人们为了进行社会、经济或其他活动而派生出来的需求。可以想象,交通需求量及交通行为同时受到交通设施或交通系统服务水平的影响。但是,四阶段预测法 (例如:发生交通量的预测阶段) 中一般不包含反映交通服务水平的变量,因此,无法用这些模型就交通服务水平与交通需求的相互关系进行讨论。另外,虽然在有些分布交通量,交通方式划分和交通量分配等阶段中包含有各个区的交通服务水平 (如:各小区之间的需要时间等) 变量,但是,这些交通服务水平变量并非在各个阶段都能相互协调,而且难以整合。

(3) 预测需要大量的数据和时间

通常,为了确保预测的精度,四阶段预测法需要有现存的 OD 表 (Origin

- Destination table)。为得到 OD 表,就需要进行大规模的调查。同时,处理这些调查数据需要花费大量的时间和费用,而且,运用这些数据建立的集计模型难以对多个代替方案进行讨论。例如:在日本进行居民出行调查,从调查到提出规划方案的评价报告,标准时间为 3 年,而且,每次最多也就能提出 5~6 个规划方案。

(4)以小区(群体)为单位

在(3)中提到,传统的四阶段预测法是以 OD 表为基础进行的。即以小区的空间范围为一个基本单位。为此,尽管小区具有空间上的广度,但被假设成为一个点。由此将会产生两个问题。一是由于数据的集计而使数据产生的偏差(bias)(关于这一点将在下面提到)。另外一个问题是如果以小区为单位,建立预测模型时必须亦以小区为单位推算出与各个小区有关的参数。尽管在进行小区划分时,有许多公认的基本原则,但是在实际操作中,小区的划分结果还是会因人而异,而那些参数将因小区划分的不同而不同。因此,得到的预测模型以及预测结果也将因规划者主观意志而改变,从而使预测的结果失去客观性。

2. 数据集计产生的问题

通常,出行是以每一个人或每一辆车为基本计量单位。出行者的交通行为受到出行者个人属性(如年龄、职业、收入等)、交通方式的属性(如价格、所需时间等)以及其他多种因素的影响。在将数据集计处理时,由于集计方法的原因,这些信息将会产生变化,数据包含的许多信息有可能丢失,从而导致集计后的数据与实际状态之间产生偏差。例如:出行的人具有年龄、性别、职业等各种各样的属性,如果按区别年龄层次、性别对数据进行集计后扩大样本的话,其他的属性与总体的样本的分布就会产生偏差。以下通过一个例子来说明由于以小区为单位集计产生的偏差。

对小区 A 和小区 B 进行调查,统计其户均出行次数,并将其结果整理成如图 1-1 所示。通过图 1-1 我们发现:每个区的户均出行次数都与户均收入成正比。这个结果显然和我们的常识相符。但是,如果用各小区的平均值建立收入和出行次数的关系,就会发生两者负相关的现象(如图中虚线所示)。通常,这种由于采用了集计数据(平均值)而引出了与事实完全不同结果的现象被称为生态学相关(ecological correlation)^[5]。

3. 规划目的多样化

从 20 世纪 60 年代起,在世界上的一些工业化国家里,交通规划的主要目的是如何有效满足由于社会经济活动而诱增的交通需求,通常的做法是

新建或改扩建交通设施。从 20 世纪 60 年代后期起,随着产业公害、交通公害引发的环境问题日益加剧,各种利益关系尖锐对立的团体纷纷出现。为了保护居民的权益,许多国家纷纷制定了环境政策以及相应的法律法规。

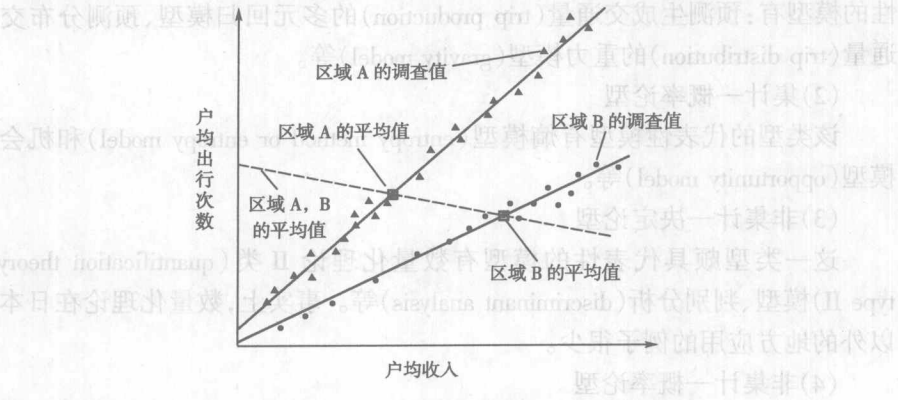


图 1-1 生态学相关的例子

例如:1970 年,美国制定了联邦环境政策法(National Environment Policy Act: NEPA)。该法律规定:在制定交通规划时,有义务请当地居民参加到方案的分析评价及规划的确定过程。此后的 1972 ~ 1973 年,世界上爆发了第一次石油危机,导致了汽油价格飞涨,于是节能的问题又被提上了议事日程。与此同时,促进公共交通的发展、停车场、停车费政策以及设置公交车辆专用车道等各种措施的评价问题也被相继提出。

从 20 世纪 70 年代后期起,西方一些国家在无望增加公共事业建设财源的情况下,现有的交通设施的有效利用政策等又成为交通规划的重大课题。

面对以上多种多样的规划目的,四阶段预测法只能首先将交通服务水平的变化分解成小区间的时间、费用(或广义费用)、交通设施容量的变化等形式,然后评价各项政策对交通需求的影响。这样的评价方法不仅需要大量的时间,而且无法充分、明确地给出政策的效果。

1.3 交通需求预测模型的分类

现存的交通需求预测模型实在为数不少。其分类方法也多种多样,这里从使用数据的类型和模型结果的类型两个角度将它们进行分类。从使用数据的类型的角度可以将它们分为集计型(aggregate type)、非集计型(disaggregate type)两大类;从模型结果的类型的角度可以将它们分为决定论型(deterministic type)、概率论型(stochastic type)两大类。

这两大类相互组合,共有 4 种类型的模型。它们分别如下:

(1)集计—决定论型

以往的四阶段预测法中所采用的模型多属于这一类型。其较具有代表性的模型有:预测生成交通量(trip production)的多元回归模型、预测分布交通量(trip distribution)的重力模型(gravity model)等。

(2)集计—概率论型

该类型的代表性模型有熵模型(entropy method or entropy model)和机会模型(opportunity model)等。

(3)非集计—决定论型

这一类型颇具代表性的模型有数量化理论 II 类(quantification theory type II)模型、判别分析(discriminant analysis)等。事实上,数量化理论在日本以外的地方应用的例子很少。

(4)非集计—概率论型

非集计—概率论型的代表性模型有 probit 模型和 logit 模型。这两个模型都是根据经济学的基本原理,假设个人在可能的选择方案(alternative)中,选择效用(utility)最大的方案。当假设效用函数的概率项服从二重指数分布(gambel distribution)时,即可得到 logit 模型;而当假设效用函数的概率项服从正态分布时,则可导出 probit 模型。因为 logit 模型的结构较为简单,操作方便,因而对它的应用研究最为广泛。这一类可以表明行为原理的模型常被称为非集计行为模型,关于这类模型将在本书中详细介绍。

狭义的非集计模型就是指非集计行为模型,而当广义的非集计模型也包括非集计—决定论型所属的类型。

各类的代表性模型如表 1-2 所示。

交通需求预测模型的分类及代表性模型

表 1-2

	决定论型 ¹⁾	概率论型
集计型	* 多元回归模型 * 重力模型	* 熵模型 * 机会模型
非集计型	* 数量化理论 II 类 * 判别分析	* probit 模型 * logit 模型

和集计模型相比,非集计模型具有如下特点:

(1)高效、低成本

非集计模型直接应用个人调查数据进行分析,没有因为数据集计而产生的信息丢失。此外,建模所需数据较少,从而大大节省了调查成本(详见第 5 章)。

(2)建模方便、操作简单

非集计模型结构较为简单,建模较为方便。

(3)可同时包含多种变量

就同一规模的调查而言,和集计模型相比,非集计模型可以用较少的数据包含更多的变量。另外,通过包含了个人社会经济属性的模型,可以分析不同集团的政策影响评价。

(4)可移植性较高

集计模型的移植,受到了社会经济因素的限制。而非集计模型是根据选择行为建立的,因此,从原理上讲,只要社会经济属性相同,模型就可移植(详见第5章)。为此,可以大大节省建模的社会成本。

另外,以上提到非集计模型有非集计—决定论型和非集计—概率论型两种之分。尽管前者在实践中也有许多应用的实例,但是,由于如下三个原因,一般认为后者的概率论型模型具有更多的优越性。

(1)出行者的交通行为受到多种因素的影响,并非总是严密遵从某种特定的模式。而决定论型模型无法有效地表现出行者的特性及其影响;

(2)决定论型模型无法将所有可能影响选择行为的变量包含在选择函数内,因而缺乏对实际选择现象的描述力。如果试图将函数包含所有的变量,函数将变得异常复杂,从而失去实用价值;

(3)决定论型模型中无法包含较多的出行者认知的信息。

本书将着重介绍非集计—概率论型的代表性模型中的logit模型和probit模型。同时,由于logit模型在理论上对消费者的行为具有较强的说服力,而且模型的结构较为简单,适用性较强;因此,本书将以logit模型为主要介绍对象。

1.4 非集计模型的用途及应用前景

1. 非集计模型的用途

读者可能会自然而然的问到:用非集计模型能做什么?

简单地讲,非集计模型是描述人们选择行为的模型。因此,它可以广泛应用在具有选择行为的社会各个方面。在交通工程界,非集计模型的主要应用领域如下:

- (1)需求量预测 这个需求量可以是交通量、停车需求量以及物流需求量等多个领域。
- (2)政策评价 通过模型的敏感性分析、需求量分析等手段,可以分析多个政策因素的

影响程度,从而为科学的制定政策提供依据。

(3) 交通服务效益评价

通常,交通服务改善前后的效益计算公式如下:

$$\text{效益} = E(\max U_a - \max U_b)$$

式中: E ——期望值;

$\max U_a$ ——服务改善后选择方案的最大效用;

$\max U_b$ ——服务改善前选择方案的最大效用。

而对于 logit 模型,交通服务改善前后的效益计算公式如下(详见第 2 章):

$$\text{效益} = \ln\left(\sum_{j \in I_a} e^{V_{ja}}\right) - \ln\left(\sum_{j \in I_b} e^{V_{jb}}\right)$$

式中: V_{ja} ——服务改善后选择方案 j 效用中的固定项;

V_{jb} ——服务改善前选择方案 j 效用中的固定项。

因此,计算被大大简化。

除此之外,完全可以想象,只要是描述人的选择行为,就可以适用非集计模型。这也就是通常所说的非集计模型应用前景广阔的原因。

2. 非集计模型的应用现状及前景

非集计模型是根据经济学的基础理论提出来的。在 20 世纪 70 年代,在交通工程、经济学以及社会学等多个领域的研究中被广泛应用。通过对美、日等国的学者近年研究的检索发现,美日等国在如表 1-3 所示的领域中均有对该模型的研究和应用。

非集计 logit 模型在美日的应用领域

表 1-3

美 国		日 本
• 劳动力市场 • 职业选择 • 雇佣及企业立地问题 • 劳工问题	• 人口移动问题 • 交通选择 • 耐用消费品的购买 • 住宅、出生、教育、选举、犯罪	• 分布交通 • 路线、交通方式选择 • 住宅、工业、商业立地问题

近年来,非集计模型作为代替、补充集计模型的手段,正从研究阶段迅速转向应用阶段,越来越多地被应用到工程实践当中。

近些年,我国的交通事业随着经济腾飞也得到了飞速发展。在我国,虽然目前大多数城市处于大规模建设时期,但是,包括节能、环保以及城市交通设施的有效利用等方面的课题显得越来越重要。与此同时,交通规划的目的也从以往的硬件设施的规划向更多的领域发展。例如,有些城市为了促进停车资源的合理利用,出台停车泊位证明、停车诱导系统等政策措施。有些城市为了促进

公共交通事业的发展,提出了一系列的公交优先的政策措施。

要使出台的政策措施合理有效,政策措施的事前评估、分析显得越来越重要。如上所述,非集计模型具有许多集计模型无法比拟的优点,因而它将为我国交通工程研究和应用提供一个有力的工具。可以预期,随着对该非集计模型研究的深入,该模型将在许多领域得到广泛应用。

参考文献

- 1 Fratar, T. J., Forecasting Distribution of Interzonal Vehicular Trip by Successive Approximations, Highway Research Board Proceedings, Vol. 33, pp. 376 ~ 385, 1954
- 2 A. G. Wilson, The Use of Entropy Maximizing Models in the Theory of Trip Distribution, Mode Split and Route Split, Journal of Transport Economics and Policy, Jan. 1969
- 3 佐佐木綱,明神證,都市および都市間高速道路のOD交通量の推定について——エントロピ法の各種先験確率式の検討——,交通工学,Vol. 5, No. 1, pp26 ~ 41, 1970
- 4 Tomazinis, A. R., A New Method of Trip Distribution in an Urban Area, Highway Research Board Bulletin, 347, 1962
- 5 土木学会,非集計行動モデルの理論と実際,1995

第2章 非集计模型的基础理论

2.1 随机效用理论基础

本章首先将根据随机效用理论,提出描述出行者效用最大化的选择函数的基本公式。在假设效用的概率项呈某种特定的分布(二重指数分布、正态分布)的条件下,推导出 logit 模型和 probit 模型。最后,介绍 logit 模型具有的非相关选择方案相互独立特性(Independence from Irrelevant Alternatives, 以下简称:IIA 特性)。

1. 出行者效用函数

非集计模型的理论基础是消费者在选择时追求“效用(utility)”最大化这一假说。在经济学中,效用的定义有多种。简单地说,效用是指消费者从消费选择中获得的愉快,或者需求得到的满足^[1]。在交通问题中如果将出行者的选择行为视为和消费者具有相类似的原理,就可以将效用理论适用于交通问题中的选择行为。

非集计模型是基于如下 2 个假设建立的。

(1)出行者是交通行为意志决定的最基本单位。即,出行者是决定何时出行、用何种方式出行、选择哪条出行路线等决策的最小单位。

(2)根据效用理论,出行者在特定的选择条件下,选择其所认知到的选择方案(alternative)中效用最大的方案。并且,选择某方案的效用因该方案所具有的特性(如:该交通方式的费用、所需时间等)、出行者的特性(如:年龄、性别、职业等)等因素而异。

具体地说,就是某种交通方式的所需费用、所需时间等服务水平特性,出行者的年龄、职业、收入等社会经济特性以及出行的目的、出行的时间带等出行的特性等与交通行为有关的特性将对效用产生影响。

根据上述理论,如果假设某出行者 n 的选择方案的集合为 A_n ,选择其中的方案 j 的效用为 U_{jn} ,则该出行者 n 从 A_n 中选择方案 i 的条件为:

$$U_{in} > U_{jn}, i \neq j, j \in A_n \quad (2-1)$$

随机效用理论同时认为效用是一个随机变量。随机效用理论通常将效用函数 U 分为非随机变化的部分(固定项(函数))和随机变化部分(概率项