文章编号: 1002-0268 (2005) 12-0140-04

南京城市公共交通一卡通行应用方案研究

张 宁[1], 王 健[2], 房 坚[2], 黄 卫[1]
(1. 东南大学交通学院, 江苏 南京 210096; 2. 南京地下铁道有限责任公司, 江苏 南京 210024)

摘要: 用模糊评价方法对南京地铁与公交一卡通行方案进行优选。分析了南京公交 IC 卡系统现状和地铁 AFC 系统选型, 表明公交 IC 卡系统不适应技术发展趋势以及多应用的拓展, 而地铁 AFC 系统则充分考虑了这些需求。讨论了地铁、公交一卡通行各种可能的模式及其影响因素, 利用加权最小隶属度偏差模型对南京城市公共交通一卡通行应用方案进行评价, 评价结果与模糊综合评判加权平均模型相一致, 表明一步到位方案为最佳方案, 但加权最小隶属度偏差法反映了不同方案偏离理想方案的程度。

关键词: 城市公共交通; AFC 系统; IC 卡; 一卡通行; 模糊评价
中图分类号: U491 文献标识码: A

Study on One Transit Smart Card Scheme in Nanjing

ZHANG Ning[1], *WANG Jian*[2], *FANG Jian*[2], *HUANG Wei*[1]
(1. College of Transportation, Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China;
2. Nanjing Metro Corporation, Jiangsu Nanjing 210024, China)

Abstract: The optimized scheme about one transit smart card in Nanjing was studied by fuzzy assessment. The status quo of Nanjing bus IC card systems and the technology option of Nanjing metro AFC (Automatic Fare Collection) systems were analyzed. The results show that bus IC card systems don't adapt to the technology development trend and multi-application purpose. All possible alternatives to foster one transit smart card and the influencing factors were discussed. The weighted least degree of membership bias model was used to evaluate one transit smart card schemes. The result is consistent with that of fuzzy weighted mean model and they all suggested that one-step scheme is the best one, but the weighted least degree of membership bias model can reflect the degree that different schemes deviate the ideal one.

Key words: Transit; Automatic fare collection system; IC card; One transit smart card; Fuzzy assessment

南京地铁南北线一期工程项目经国务院批准立项, 总长 21.72km, 是南京城市客流交通的重要通道, 票务运营采用基于非接触式智能 IC 卡的自动售检票系统 (Automatic Fare Collection, AFC)。目前南京市已经存在公交 IC 卡系统, 鉴于城市公共交通电子付费系统实现一卡多用是城市交通管理现代化的发展趋势, 在建设一卡多用系统的时候, 首先应保证公共交通一卡通行。因此, 为确保顺利实施城市公共交通一卡通行, 为将来逐步拓展 IC 卡一卡多用功能创造条件, 必须对南京城市公共交通一卡通行应用方案进行深入研究, 以形成南京地铁 AFC 系统建设的总体方案。

1 南京公交 IC 卡系统现状

南京公交 IC 卡系统基本技术特点评价如下[1]:

(1) 不适应技术、应用的发展趋势, 这主要是由

收稿日期: 2005-08-26
基金项目: 南京地下铁道工程建设指挥部专项科技项目 (DI-XY02-1001-0201)
作者简介: 张宁(1972-), 男, 新疆伊宁人, 博士, 主要研究方向为道路与铁道工程、交通信息工程与控制. (ningzhang1972@yahoo.com.cn)

于当时此类芯片（TYPE B T0 卡）仅针对公交应用，对于一卡多用环境存在缺陷，包括：采用专有技术逻辑加密卡；加密方式不灵活及安全性能低；数据管理方式不灵活，在卡发行时各种应用必须预先预留、规划空间；应用方式具有较大的局限性，未考虑信息存储类应用；采用浮动寻址方式导致读写速率偏低。

（2）技术支持无保障：Motorola 公司已宣布退出 IC 卡芯片的开发及制造，今后公交系统的升级及该类型卡片大批量的持续供货已存在很大的问题。

（3）密钥系统存在不合理性：由于南京公交 IC 卡系统完成于建设部 IC 卡技术规范颁布之前，未采用建设部密钥系统；SAM 模块固化，不能更新；所有应用只共用一个密钥。这些在一卡多用的需求中很难提供安全保证及互联互通。

（4）卡存储容量偏小：卡存储容量为 1K，若想在一卡通上发展更多的应用必然会受到一定的限制；国内外成功的经验表明至少为 2K。

（5）一卡多用是一个十分复杂的大系统；受当时社会、技术条件和经验限制，未与其它应用业主充分协商，实施时的规划工作不够深入，可能难以满足某些应用要求。

（6）公交 IC 卡系统的清分与结算都在同一个中心系统中实现，并没有完全独立于各应用，因此并不能真正体现一卡通运营所必需的独立、公平、公正的组织原则，这限制了新应用的加入；同时其小型机处理能力不能满足业务的进一步拓展。

（7）其它一些问题，如社会定位、社会影响等。

由于存在上述局限性，采用既有公交 IC 卡系统作为南京城市公共交通一卡多用系统平台是不现实的，公交 IC 卡系统本身也已到了必须进行改造的地步，而地铁 AFC 系统建设启动，为南京建立一卡多用系统平台提供了良机。

2　南京地铁 **AFC** 系统技术选型

为了便于拓展多应用业务，地铁 AFC 系统对卡技术总体要求为非接触式 CPU 卡，适合在有高安全性要求的多应用环境下使用，同时 CPU 卡数据按文件管理，实现各种功能方式灵活，适合做一卡多用系统载体。南京地铁 AFC 系统技术选型坚持以下一些原则[2]：

（1）对卡的要求是供货渠道广泛、卡不易受损、卡充值方便、卡交易速度快（250ms 左右）、出错率低等。

（2）技术支持有保障，包括卡和机具的升级及可兼容芯片、卡片的大批量供货，以及适应形势发展的需要而进行的系统改造。

（3）使用统一的建设部密钥系统和符合建设部规范的 SAM 模块；满足卡上采用一个应用一个密钥的方式，不同应用之间不能互相访问等要求。

（4）卡的存储容量应足够大，以便于多应用环境下的信息存储，考虑采用 4K。

依据南京地铁 AFC 系统的技术定位，系统付费介质选定为 TYPE A Desfire 卡。

3　南京城市公共交通一卡通行模式及影响因素

3.1　加入现有的公交 IC 卡体系

由于目前公交 IC 卡已发行超过了 200 万张，在市民中的普及率比较高，若采用公交 IC 卡作为地铁的月票卡、储值卡等的载体，可以保护现有的投资并方便群众。但为适应一卡多用发展的需求，由于存在第 1 节中所描述的缺陷，不宜采用公交 IC 卡技术，这一点地铁公司与公交 IC 卡公司也已达成共识。

3.2　发行新的 IC 卡，逐步对公交 IC 卡进行改造

这种方式下可包括以下几种情况。

（1）相互提供系统接口

双方系统各为对方的系统提供接入模块，实现双方的卡互通的目的。该模式的优点在于保护了公交系统的既有投资；方便已购买公交 IC 卡的市民，社会影响较小；同时公交系统已存在的用户群，可以直接转变为地铁的用户，为系统带来边际收益。该模式的缺点也是很明显的，例如需要大量的协调工作，在地铁读写机具上提供公交模块的接口需要定制等工作，短期内虽实现了一卡通行，长远看可能阻碍南京城市交通一卡多用系统的发展，因为后续轨道交通线路 AFC 系统建设需要协调的工作量更大。

（2）单方面提供接口

地铁系统为对方的系统提供接入模块，在地铁系统内可使用公交方的智能卡，但地铁方的智能卡不可以在公交系统内使用，实现公交卡单向互通的目的。该模式的优点同（1）。

该模式的缺点也很明显，首先，由于公交 AFC 系统的读写模块及安全模块属专用技术，在地铁读写机具上提供这些模块的接口需要定制（价格可能大幅度上涨）；其次，公交 IC 卡系统已具有一定的用户基础和市场影响，由于地铁一号线客流的增长和服务范围相对有限，对市民的影响力在早期不如南京公交，在单方面提供接口的情况下，会误导市民积极使用公交 IC 卡，一方面导致地铁 IC 卡份额逐渐减小，另一

方面导致市民或政府误认为应以公交 IC 卡为基础实现南京城市一卡多用系统，对以后一卡多用系统的实施带来更多的困难、以及更多不必要的重复投资；再次，提供公交 IC 卡接口可能导致地铁 AFC 系统性能下降。

(3) 独立发展

地铁系统独立建设系统，所有应用技术和标准由地铁 AFC 系统进行单独选择。

该模式的优点在于无需考虑系统间的兼容，对卡以及机具的选择余地较大，相对避免了系统的技术选择和标准选择的顾虑，可以采用相对较先进的技术和系统，为将来一卡多用系统的建设提供技术平台；技术实现的难度较低，系统建设的成本低。该模式的缺点是，公交系统已经存在大量的 IC 卡用户群，无法直接转变为地铁的用户；存在较大的社会影响压力。

(4) 升级公交系统

采用与地铁相同的 IC 卡技术重新构建公交 AFC 系统。这一模式优点是为以后的一卡多用系统建设铺平了道路。缺点为：一方面需要短期内更换大量的卡，另一方面公交 IC 卡系统运营时间尚短，社会不理解；需要一大笔额外的资金；关键是地铁建设时间紧迫，在较短时间内达成一致有很大难度，可能会耽误地铁工期。

由上述分析，可知影响南京城市公共交通一卡通行方案的主要因素指标包括：(1) 协调工作量；(2) 社会影响；(3) 收益损失；(4) 投资成本；(5) 维护管理难度；(6) 地铁服务水平；(7) 可实现性；(8) 应用拓展方便程度；(9) 系统工作性能。其中由于这些指标的优劣均带有不分明性，于是采用模糊集合进行描述，并采用模糊决策方法对方案进行综合评价。

4 南京城市公共交通一卡通行应用方案评价

模糊综合评判基本模型为加权平均模型 $M(\cdot, +)$，决策原则为按最大隶属度对应的方案最优[3,4]。除了基本评价模型以外，经常使用的模糊决策方法还包括加权相对偏差距离最小法[5]，模糊优选理论模型[6]，最小隶属度偏差法[7] 等。在文献[7] 的基础上，本文用加权最小隶属度偏差模型对南京城市公共交通一卡通行应用方案进行评价，并与加权平均模型 $M(\cdot, +)$ 评价结果对比。

4.1 加权最小隶属度偏差模型

设 $X=\{x_1, x_2, \cdots, x_n\}$ 表示 n 个待选优的方案组成系统的选优集，向量 $f(x)=(f_1(x), f_2(x), \cdots, f_m(x))^{\mathrm{T}}$ 表示 m 个指标对选优对象的目标函数，其中 $f_i(x_j)>0$，$i=1,2,\cdots,m$；$j=1,2,\cdots,n$，向量 $f^1(x)=(f_1(x), \cdots, f_k(x))^{\mathrm{T}}$ 表示 k 个越小越好的指标，向量 $f^2(x)=(f_{k+1}(x), \cdots, f_m(x))^{\mathrm{T}}$ 表示 $m-k$ 个越大越好的指标，则评价问题可描述为多目标规划

$$\begin{cases} \min\limits_{x\in X} f^1(x)=(f_1(x), \cdots, f_k(x))^{\mathrm{T}} \\ \max\limits_{x\in X} f^2(x)=(f_{k+1}(x), \cdots, f_m(x))^{\mathrm{T}} \end{cases} \tag{1}$$

评价系统目标特征值矩阵为

$$Y_{m\times n}=\begin{bmatrix} f_1(x_1) & f_1(x_2) & \cdots & f_1(x_n) \\ f_2(x_1) & f_2(x_2) & \cdots & f_2(x_n) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_m(x_1) & f_m(x_2) & \cdots & f_m(x_n) \end{bmatrix} \tag{2}$$

为消除指标特征值量纲不同的影响，将矩阵 Y 规格化，将特征值矩阵转化为对应的隶属度矩阵，即优属度矩阵。设论域 $U_i=\{f_i(x_1), f_i(x_2), \cdots, f_i(x_n)\}$，$i=1,2,\cdots,m$，对越小越好、越大越好指标可分别采用规格化公式

$$\mu(f_i(x))=\frac{\underline{f_i}}{f_i(x)},\ i=1,2,\cdots,k;\ x\in X \tag{3}$$

$$\mu(f_i(x))=\frac{f_i(x)}{\overline{f_i}},\ i=k+1,\cdots,m;\ x\in X \tag{4}$$

$$\underline{f_i}=f_i(x_1)\wedge f_i(x_2)\wedge\cdots\wedge f_i(x_n),\ i=1,2,\cdots,k \tag{5}$$

$$\overline{f_i}=f_i(x_1)\vee f_i(x_2)\vee\cdots\vee f_i(x_n),\ i=k+1,\cdots,m \tag{6}$$

则优属度矩阵为

$$R_{m\times n}=\begin{bmatrix} \mu(f_1(x_1)) & \mu(f_1(x_2)) & \cdots & \mu(f_1(x_n)) \\ \mu(f_2(x_1)) & \mu(f_2(x_2)) & \cdots & \mu(f_2(x_n)) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mu(f_m(x_1)) & \mu(f_m(x_2)) & \cdots & \mu(f_m(x_n)) \end{bmatrix}= \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}=(r_{ij}) \tag{7}$$

式中，r_{ij} 为方案 j 指标 i 对优的隶属度 $\mu(f_i(x_j))$。

设评价系统中 m 个指标的权向量为

$$w=(w_1, w_2, \cdots, w_m)^{\mathrm{T}},\ \sum_{i=1}^{m} w_i=1 \tag{8}$$

按最优原则确定理想点 f^0，显然 $\mu(f_i^0)=1$，$i=1,2,\cdots,m$。

$$f^0=(f_1^0, f_2^0, \cdots, f_m^0)^{\mathrm{T}}=(\underline{f_1}, \cdots \underline{f_k}, \overline{f}_{k+1}, \cdots \overline{f}_m)^{\mathrm{T}} \tag{9}$$

定义 $f(x)$ 对 f^0 的加权偏差 $\mu(f(x))$，$x\in X$

$$\mu(f(x))=\sum_{i=1}^{m} w_i \mid \mu(f_i(x))-\mu(f_i^0) \mid =$$

$$\sum_{i=1}^{m} w_i [1 - \mu(f_i(x))] \quad (10)$$

从而式(1)所描述的多目标规划问题转化为下面的单目标规划问题

$$\min_{x \in X} \mu(f(x)) = \sum_{i=1}^{m} w_i [1 - \mu(f_i(x))] \quad (11)$$

求式(11)的最优解 x^*，作为评价问题在加权最小隶属度偏差意义下的最优解，可反映出不同方案的差异程度。

4.2　应用方案评价

(1) 方案 1：一步到位。其指导思想是对公交 IC 卡系统进行 A+B 兼容改造，根据乘客的使用意愿，逐步置换为 A 类 CPU 卡；至 2005 年 9 月地铁一号线投运，以 A 类(DESFIRE)储值卡实现全市公共交通领域的一卡通，停发 B 卡，鼓励 A 卡置换 B 卡，B 卡继续在原应用领域使用；至 2009 年地铁二号线投运，召回并停用 B 卡，实现真正的票卡统一；可以争取到统一票卡后拓展多种应用、获取增值效益的良机。

(2) 方案 2：公交系统 A+B 兼容改造，快速换卡。与方案 1 的区别在于 2005 年 9 月地铁一号线开通前，即完成全部换卡工作，实现全市 A 卡一卡通；快速集中换卡需要精心组织，换卡设备数量和网点需增加 1 倍，投资比方案 1 略多一些。

(3) 方案 3：地铁系统 A+B 兼容改造的方案。地铁系统全面改造，向原摩托罗拉 B 卡系统兼容，短期内看似平稳，但意味着 B 卡产品及原系统的诸多缺陷将在更长的时期内存在并束缚南京市一卡多用系统和城市信息化建设的步伐；地铁完成 B 卡兼容后，系统性能将受到负面影响，特别是乘客刷卡交易时间将因此有较明显的延迟；基于 T0 卡的研发成果缺乏再利用价值，将带来额外高昂的设计费用。

(4) 方案 4：地铁 AFC 系统增设 B 卡专用通道系统。此方案比一步到位方案将额外增加 B 卡专用闸机、管线材料、车站和中央网络设备、中心及车站计算机等硬件设备的费用，另有软件系统的购置及开发/调试费用；由于对于持不同票卡乘客的服务水平不一致，B 卡专用通道易堵塞，造成地铁车站内客流轨迹混乱，高峰时段可能积压客流，造成事故隐患，也会给地铁票务系统带来较大的负面影响和社会压力；若 2 号线开通时还未换完旧卡，需要配置更多的专用通道，每年还需支付额外的运营维护成本。换卡的时限越长，多个系统长期并行将造成运营管理成本越大，改造费用也越无法控制。

因此，方案集定义为{方案 1；方案 2；方案 3；方案 4}，在影响南京城市公共交通一卡通行方案的主要因素指标中，协调工作量、社会影响、投资成本、维护管理难度、收益损失这几项指标越低越好；而地铁服务性能、可实现性、应用拓展方便程度几项指标越高越好；其中的定性指标值采用特尔斐法确定。由于系统工作性能指标可以通过地铁服务性能指标得以体现，具有一定的相关性，故分析过程中略去系统工作性能指标。计算过程如下。

(1) 给出各方案的各项指标值，具体见表 1。

表 1　方案指标值

方案(x_i)	投资[注2]/万元	损失/万元	社会影响	协调工作量	维护管理难度	地铁服务性能	规定时间内可实现性[注1]	应用拓展方便程度
1	5926	1000	3	3	2	9	8	9
2	6019	600	9	3	2	9	3	9
3	7528	2000	2	8	6	3	2	1
4	8846	2000	8	7	8	1	5	1

注 1：包括系统改造和换卡全部完成。

注 2：所有方案的测算前提是 2005 年停发 B 卡，最迟于 2009 年地铁二号线开通前置换所有 B 卡。

(2) 计算各指标值的优值隶属度，并得出优属度矩阵

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0.985 & 0.787 & 0.67 \\ 0.6 & 1 & 0.3 & 0.3 \\ 0.667 & 0.222 & 1 & 0.25 \\ 1 & 1 & 0.375 & 0.429 \\ 1 & 1 & 0.333 & 0.25 \\ 1 & 1 & 0.333 & 0.111 \\ 1 & 0.375 & 0.25 & 0.625 \\ 1 & 1 & 0.111 & 0.111 \end{bmatrix}$$

(3) 按最优原则取理想点

$$f^0 = (5926, 600, 2, 3, 2, 9, 8, 9)^T$$

(4) 利用集值统计迭代法确定权重

$$w = (0.13, 0.05, 0.23, 0.09, 0.08, 0.17, 0.19, 0.06)^T$$

(5) 按式(11)计算各方案的加权隶属度偏差

$$((\mu(f(x_1)), \mu(f(x_2)), \mu(f(x_3)))^T = (0.097, 0.3, 0.48, 0.636)^T$$

按加权最小隶属度偏差对应的方案最优的原则，方案从优到劣排序结果为一步到位方案 1> 方案 2> 方案 3> 方案 4。

实际上按加权平均 M(·，+)模型[3]可计算决策向量 $B = (0.903, 0.7, 0.52, 0.364)^T$，按最大隶属度对应的方案最优的原则，同样得出一步到位方案为最佳方案的结论。所以加权最小隶属度偏差法与模糊综合评判加权平均型模型的排序(下转第147页)

轮胎侧偏刚度与临界车速呈非线性关系; 不同的驾驶员预瞄时间, 对应不同的临界车速, 并且存在一个最佳的预瞄时间, 对该车来说, 最佳预瞄时间为 0.85~ 0.9s 左右, 此时对应最大的临界车速。

$$\Delta_{n-1}=\begin{vmatrix} a_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_5 & a_4 & a_3 & a_2 & a_1 & 1 & 0 \\ a_7 & a_6 & a_5 & a_4 & a_3 & a_2 & a_1 \\ 0 & a_8 & a_7 & a_6 & a_5 & a_4 & a_3 \\ 0 & 0 & 0 & a_8 & a_7 & a_6 & a_5 \\ 0 & 0 & 0 & a_0 & 0 & a_8 & a_7 \end{vmatrix} \quad (27)$$

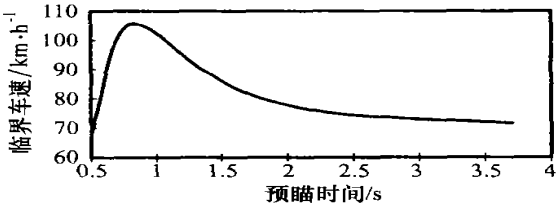

图 7　预瞄时间对临界车速的影响

4　结论

(1) 分析了车速和轮胎侧偏刚度的特征根轨迹, 讨论了这两个参数对系统稳定性的影响。

(2) 在对系统模型线性化基础上, 讨论了轮胎侧偏刚度和驾驶员预瞄时间对临界车速的影响。

(3) 通过分析可知, 增加模型的非线性因素对正确了解半挂汽车列车系统行驶稳定性的本质问题是十分重要的。

参考文献:

[1] JT/T426-2000, 汽车列车性能要求及试验方法 (摘要) [S] .
[2] 关志伟, 许洪国. 汽车列车直线行驶横向稳定性模拟实验台控制系统 [J] . 公路交通科技, 2002, 19 (6): 156- 159.
[3] 秦民, 等. 非线性闭环汽车系统直线行驶稳定性分析 [J] . 汽车工程, 2002, 24 (6): 520- 523.
[4] 刘秉正. 非线性动力学与混沌基础 [M] . 东北师范大学出版社, 1994.
[5] 廖小昕. 动力系统的稳定性理论和应用 [M] . 国防工业出版社, 2000.
[6] 关志伟. 半挂汽车列车行驶稳定性动力学仿真研究 [D] . 吉林大学, 2003.
[7] 张继业, 等. Hopf 分岔的代数判据及其在车辆动力学中的应用 [J] . 力学学报, 2000, 32 (5): 598- 604.

(上接第 143 页)

是一致的, 但加权最小隶属度偏差法反映了不同方案偏离理想方案的程度。

5　结论

由于南京建设城市公共交通一卡多用系统的特殊性, 首先要保证市民在地铁 AFC 系统与公交 AFC 系统之间一卡通行, 南京地铁 AFC 系统的建设为一卡多用系统平台创造了良机。分析了南京公交 IC 卡系统现状和地铁 AFC 系统选型, 指出公交 IC 卡系统不适应技术发展趋势以及多应用的拓展, 而地铁 AFC 系统则充分考虑了这些需求, 在此基础上, 讨论了地铁、公交一卡通行各种可能的模式及其影响因素。由于各种模式及影响因素的优劣均带有不分明性, 采用模糊集合进行描述是比较合适的, 利用加权最小隶属度偏差模型对南京城市公共交通一卡通行应用方案进行评价, 并与加权平均型模型评价结果对比, 指出一步到位方案为最佳方案。

参考文献:

[1] 张宁. 城市公共交通一卡多用系统规划与评价体系研究 [D] . 南京: 东南大学交通学院, 2004.
[2] 张宁, 房坚, 王健. 南京地铁 AFC 系统建设思路的研究 [J] . 金卡工程, 2005 (1): 59- 61.
[3] 李洪兴, 汪培庄. 模糊数学 [M] . 北京: 国防工业出版社, 1994.
[4] 秦寿康, 等. 综合评价原理与应用 [M] . 北京; 电子工业出版社, 2003.
[5] 高更君, 黄卫. 公路主枢纽站场布局的多目标模糊决策分析 [J] . 土木工程学报 (交通工程分册), 2001, 1 (1): 24- 27.
[6] 陈守煜, 赵瑛琪. 模糊优选 (优化) 理论与模型 [A] . 刘增良, 主编. 模糊技术与应用选编 (1) [C] . 北京: 北京航空航天大学出版社, 1997.
[7] 胡秦生, 郑春勇. 模糊多目标系统实用最优决策法及其应用 [A] . 刘增良, 主编. 模糊技术与应用选编 (2) [C] . 北京: 北京航空航天大学出版社, 1997.