

字符二维码的编码模式选择算法^①

许超杰¹, 刘 志¹, 何振芬¹, 冯晓斐²

¹(浙江工业大学 计算机科学与技术学院, 杭州 310023)

²(浙江工商大学 计算机与信息工程学院, 杭州 310018)

摘 要: 字符二维码的编码通过针对特定字符集划分模式来编码, 各个模式之间需要转换以达到最高的编码效率. 首先研究 DataMatrix 国际标准“向前检验”算法, 发现“向前检验”算法具有局限性, 并不能直接应用与字符二维码的模式选择. 因此, 本文在“向前检验”的基础上, 结合了多阶段决策方法的原理, 引入混合模式计数的方法, 提出了一种字符二维码的“向前检验”算法, 并应用于字符二维码的模式选择. 实验表明, 该算法有效的进行了字符二维码的模式选择, 很好的解决字符二维码的模式选择问题.

关键词: 字符二维条码; 编码; 模式选择算法; 多阶段决策; 向前检验

Encoding Scheme Selecting Algorithm of Character Two-Dimensional Barcode

XU Chao-Jie¹, LIU Zhi¹, HE Zhen-Fen¹, FENG Xiao-Fei²

¹(College of Computer Science and Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

²(College of Computer and Information Engineering, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The character two-dimensional barcode is encoded through selecting different schemes for specific character set. The various schemes are selected in order to achieve the highest encoding efficiency. In this paper, we first study the international standard “look -ahead test” algorithm in Data Matrix 2D code, and find it has its limit. We cannot apply the characters two-dimensional code scheme selection immediately. So, based on the international standard “look -ahead test” algorithm in Data Matrix 2D code, the principle of multistage decision and the method of mixed character count are used to achieve a kind of look-ahead algorithm for character two-dimensional barcode. We apply it to the characters two-dimensional code scheme selection. The experiments show that the look-ahead test algorithm is a good solution to solve the characters two-dimensional barcode scheme selection problem.

Key words: character two-dimensional barcode; encoding; scheme selecting algorithm; multistage decision; look-ahead test

二维条码技术已成为近年来计算机自动识别领域内的一个重点和热点^[1]. 传统二维条码主要有 DM 码, QR 码等, 如图一(a)、(b)所示, 都是采用几何图形来表示文字、数字等信息的. 字符二维码的出现, 以字符矩阵的形式代替传统二维码图片形式, 采用短信发送, 突破了传统二维码彩信发送的这一限制, 解决了传统二维条码彩信发送存在移动网络带宽窄, 彩信丢失率高等问题^[2].

1 字符二维码简介

常见的二维条码, 主要有 DataMatrix 条码^[3]和 QR

码^[4]等, 均已形成国际标准. 字符二维码^[2], 如图 1(c)所示, 是一种基于传统的 Data Matrix 和 QR 码的编码原理, 并在编码模式、编码规则以及符号结构这些方面都进行了新的设计和实现的新型二维条码^[2].

不管是字符二维码, 还是图形二维码, 其编码过程, 一般都可分为数据编码, 纠错编码和符号化过程三大部分. 字符二维码的数据编码过程, 通过针对特定字符集划分模式和模式之间的转换来进行编码, 其编码模式及各模式下编码效率如表 1 所示. 字符二维码具有 5 种编码模式^[2], 各模式的编码方法均属于等

① 基金项目:浙江省科技厅资助项目(2009C11038,2010C31088)

收稿时间:2012-08-28;收到修改稿时间:2012-11-12

长编码,以若干个字符为一组,编码为相应的二进制位串.根据等长编码定理^[5],其编码应满足以下规律:假设该编码模式的字符集字符数为 M ,以 m 个字符为一组,那么采用的二进制位数 k 需满足 $2^k \geq M^m$.例如基本大写模式中,字符集共 45 个字符,以 2 个为一组,那么, $2^k \geq 45^2$, $k \geq 11$,故需 11 位二进制位串来编码基本大写模式.以基本大写模式为例,假设编码的两个字符在基本大写模式字符表中的位置分别为 C_1, C_2 ,编码过程首先计算 $C_1 \times 45 + C_2$ 的值,然后

转换为对应的 11 位二进制值.如对于字符“BC”,在字符表中的位置为 1 和 2,那么 $C_1 \times 45 + C_2 = 47$,对应的二进制编码为 00000101111.



(a) DataMatrix



(b) QR 码

▼STMKOVSA▼
TTVVAAAKTT
OMMOTZOVSS
VVAMMSSMZ
MKSMOVTMVO
OVOMMSKAV▼

(c) 字符二维码

图 1 二维码

表 1 字符二维码的编码模式及编码效率

编码模式	模式指示符	可编码的字符集	计算方法	编码效率
基本大写模式 (Upper)	001	A~Z, 0~9, Sp, 8 个常用标点	每 2 个字符转换为 11 位	平均 5.5 个位
基本小写模式 (Lower)	010	a~z, 0~9, Sp, 8 个常用标点		平均 5.5 个位
数字标点模式 (Punct)	011	0~9, Sp, 其余 32 个标点		平均 5.5 个位
数字模式 (Digit)	100	0~9	每 3 个字符转换为 10 位	平均 3.33 个位
全模式 (All)	101	全部 95 个可编码字符	每个字符转换为 7 位	平均 7 个位

当某一种模式不能编码或者不能高效编码数据信息时,就需要进行模式的转换.字符二维码的模式转换借鉴了 QR 码^[4]的模式转换方法.字符二维码共有 5 种模式,故只需 3 位模式指示符即可全部标示,如表 2 所示.模式指示符之后,紧跟 6 位字符计数指示符来标示该模式编码的字符长度,以确定该模式的结束位置.字符计数指示符的计算方法就是对应的该编码字符的长度的二进制表示.那么,编码后的二进制位串就具有了如表 2 所示的段式结构.

表 2 字符二维码的数据编码位流

模式指示符	字符计数指示符	数据位流	...
3 位	6 位	若干位	...

在得到表 2 这样的数据编码位流之后,再进行纠错编码加上纠错码,并按照一定的规则,符号化之后就形成了如图 1(c)所示的字符二维码.

通过在不同效率间的模式进行转换的方式,字符二维码的数据编码能够选择最优的编码模式来编码,以得总的编码具有最高的数据压缩率.本文研究字符二维码的数据编码过程,并着重研究字符二维码的模式选择过程.研究字符二维码的模式选择算法,旨在使数据编码能够采用选择最优的模式进行编码,以缩短编码长度,提高字符二维码的数据容量.

2 字符二维码模式选择算法

2.1 DataMatrix 码的模式选择选择算法

DataMatrix 码国际标准在附录 s 中给出了一种基于“向前检验”(Look-ahead Test)^[3]的模式选择算法,该算法通过向前预读一段字符的方式,来预测下一段字符所采用的模式.向前检验为每个模式分配计数器,依次向前预读字符,计算在每个模式 x 下,编码该字符长度的计数值.当某种模式的计数值与其他模式相比较,其编码长度加上一阈值仍小于其他所有模式时,则认为采用该模式编码明显的短于其他模式,即返回采用该模式的编码暗示,后续字符即采用该模式编码.若不出现返回条件,则继续向前预读字符,直到出现返回条件为止.各模式的字符计数值计算如下:

$$\varphi(X) = T(Z, X) + X(A), \forall X \in D \quad (1)$$

其中, A 为向前检验预读的字符组成的字符段, D 为可能的编码模式集合, X 为预计编码 A 采用的模式, $X(A)$ 表示用 X 模式编码 A 的字符计数值, $T(Z, X)$ 为当前模式 Z 转换到 X 模式所用的代价.

在实际编码中,我们注意到向前检验在对某些类型序列编码进行模式选择时,模式选择存在一定的局限性.例如:形如“...AAA11111aaaaaaa...”的字符串,采用“...AAA”[C40],“1111”[ASCII],“1aaaaaaa...”[Text]的方

式进行编码将得到最短的编码长度. 然而实际向前检验算法的模式选择结果为“... AAA”[C40], “11111aaaaaa...”[Text], 在对数字串编码是并没有采用 ASCII 模式而是直接进入 Text 模式进行编码. 根据 DM 码的编码模式^[3], 由于 Text 编码数字为平均每个字符 5.33 位, 而 ASCII 模式编码数字为平均每个字符 4 位, 所以向前检验的结果造成了编码长度的增加.

研究发现其他一些字符串的编码也有类似的情况, 分析产生上述情况的原因, 向前检验算法由于返回条件的局限性, 当预读字段不满足返回条件而预读了较长字符段时, 由于只单一的检验了某一种模式的编码情况, 可能会造成无法检验出中间短的模式段(上例中短的 ASCII 段), 而跳过直接采用后续的模式进行编码.

DM 码的向前检验算法有上述的局限性, 同时, DM 码的模式选择算法并不是一种通用的算法, 其模式选择是与其编码模式息息相关的, 将 DM 码的模式选择算法直接应用到字符二维码当中显然是不合适的. 因此, 本文研究的字符二维码的模式选择算法, 在 DM 码向前检验原有字符计数的原理的基础上, 结合字符二维码编码模式的特殊性, 引入多种模式混合计数的方法, 提出了一种字符二维码的模式选择算法.

2.2 分段和模式混合字符计数

观察字符二维码的 5 种编码模式, 其编码的字符集具有这样的结构:

1) 基本大写模式, 基本小写模式和数字标点模式具有一个公共子集, 这个子集内的字符可以用所有这三种模式和全模式来编码, 而余下各自部分只能用各自的模式和全模式来编码.

2) 10 个数字集包含于上述三个模式的公共子集中, 数字集还可以用数字模式来编码.

我们根据字符集的可编码情况, 可以将总字符集归类划分成表 3 所列的 5 个不同情况的字符集. 可以看到表三同一字符集内的字符所可能采用的模式情况是完全相同的, 那么同一字符集内的字符一定采用相同的模式进行编码.

表 3 模式分段

字符集	可能的编码的模式
26 大写字母	基本大写模式, 全模式
26 小写字母	基本小写模式, 全模式
24 个标点	数字标点模式, 全模式
数字 0~9	5 种模式均可
Sp, 8 个常用标点	除数字模式以外 4 种模式均可

因此, 按照表三的字符集, 我们将待编码的字符串进行预分段, 改变字符计数预读的方式为一次预读一个字符段, 既可以加快字符预读的速度, 同时当预读多段字符时, 又可以按照表三确定可能采用的模式混合, 为实现混合模式的计数提供了可能.

2.3 多阶段决策模型

多阶段决策问题^[6,7], 是指整个决策过程可以划分为若干个决策阶段. 在它的每一个阶段都需要作出决策, 上一阶段的决策往往影响下一阶段的决策, 即各个阶段的决策选取不是任意的, 它依赖于当前面临的状态, 又影响以后的决策^[8]. 我们将字符二维码的若干个字符分段的模式选择决策作为多阶段决策的若干个决策阶段, 每一段的模式选择决策都依赖于前一段的模式选择决策的状态, 又影响后一段的模式选择.

字符二维码每一阶段的决策决定该段字符段采用的编码模式, 其阶段数 n 最多不超过编码源信息串的字符个数 N . 图 2 给出多阶段决策的示意图^[8].

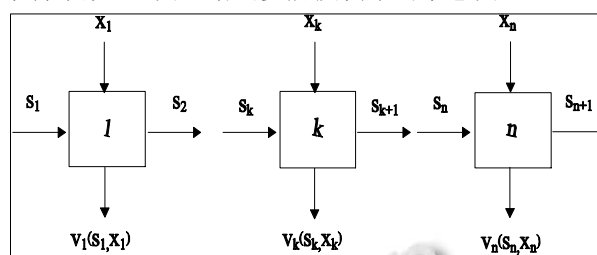


图 2 多阶段决策示意图

其中, k 为阶段变量, 即表示第 k 个分段. x_k 为第 k 阶段的决策变量, 即表示第 k 段所采用的模式. s_k 为 k 阶段的状态变量, 这里是第 k 段编码时所处的状态. $v_k(s_k, x_k)$ 为第 k 阶段的效益函数. 对于字符二维码的模式选择, 这里的效益函数的物理意义是指前 k 个分段的编码的长度, 长度越短, 效益越好, 它是跟第 k 段所处的状态 s_k 和所作的决策 x_k 有关的. 对于字符二维码:

$$v_k(s_k, x_k) = v_{k-1}(s_{k-1}, x_{k-1}) + u(s_k, x_k, k) \quad (2)$$

其中, $u(s_k, x_k, k)$ 表示在当前状态 s_k 下, 采用 x_k 决策编码第 k 段的效益增量. 这是一个递推的结构, 每一阶段的效益等于前一阶段的效益, 加上该阶段的效益增量. 当 $k=1$ 时, 由于前面没有字符段, $v_1(s_1, x_1) = u(s_1, x_1, 1)$ 为第一段字符采用决策 x_1 模式的编码第 1 段时编码长度.

于是, 字符二维码的模式选择可以视为多阶段决策问题, 根据公式(2), 可知, 对前 $K+1$ 段的编码模式

选择的最优决策包含了对前 K 段的编码模式选择最优决策, 根据这一性质, 构造混合模式向前检验的方法.

混合模式的字符计数与单一字符计数不同, 我们还需记录该字符计数对应的编码模式序列, 具体计算方法可公式表示如下:

1) 假设前 k 段以各个模式 X_k 编码结尾的最短编码序列的字符计数情况为:

$$\varphi(X_k), \text{ 其编码模式序列为 } (X_1, \dots, X_k).$$

其中 X_k 为编码第 k 段所有可能的编码模式.

2) 那么第 $k+1$ 段以各个编码模式结尾的最短编码序列的字符计数情况可以由前 k 段的计数值递推的得到:

$$\begin{aligned} \varphi_{k+1}(X_{k+1}) &= \underset{\forall X_k \in D}{\text{MIN}} \{ \varphi(X_k) + T(X_k, X_{k+1}) + X_{k+1}(A) \} \\ &= \underset{\forall X_k \in D}{\text{MIN}} \{ \varphi(X_k) + T(X_k, X_{k+1}) \} + X_{k+1}(A) \end{aligned} \quad (3)$$

其模式编码序列变成 $(X_1, \dots, X_k, X_{k+1})$;

其中 X_{k+1} 为新的当前字符段的编码模式, $T(X_k, X_{k+1})$ 为从模式 X_k 转换到模式 X_{k+1} 时所需的转换代价计数值. $X_{k+1}(A)$ 为用 X_{k+1} 这一模式来编码当前字符段 A 时所需的编码长度计数值.

3) 而初始的第 1 段采用 X_1 模式时的计数情况为:

$$\varphi_1(X_1) = T(X_0, X_1) + X_1(A) \quad (4)$$

初始的编码序列为 (X_1) ;

其中 X_0 为当前模式, 即前一段的编码模式, $T(X_0, X_1)$ 为从模式 X_0 转换到模式 X_1 所需的转换代价计数值. $X_1(A)$ 为采用 X_1 模式编码当前字符段 A 时所需的编码长度计数值.

由 1)、2)、3), 我们便可以得到混合模式预读每一段字符时, 以各个模式结尾的最短编码序列以及该序列的编码计数值.

2.4 向前检验的返回条件

根据 2.3 所述的方法, 我们已经得到了以各个模式结尾的最短编码序列以及该序列的编码计数值.

以假设要返回的是 *Upper* 模式为例, 那么编码的情况可分为如下两种:

1) 后续模式也是 *Upper* 模式

此时, 返回 *Upper* 模式的条件是: *Upper* 模式结尾的编码序列计数值短于其他所有编码序列计数值.

2) 后续模式并非 *Upper* 模式

此时, 采用 *Upper* 模式需要模式指示符加字符计数指示符才能转换到相应的模式, 而与后续模式相同的模式序列则不需转换, 故返回 *Upper* 模式的条件是: *Upper* 模式结尾的编码序列字符计数值+9(模式指示符加字符

计数指示符的代价)小于等于其他所有编码序列计数值.

综合以上两点, 由于后续编码模式是未知的, 我们取条件的交集, 即 *Upper* 模式结尾的编码序列字符计数值+9 小于等于其他所有编码序列计数值. 其余模式的情况与 *Upper* 模式的情况相同.

2.5 算法的流程

模式选择算法是分段与向前检验同时进行的, 按照表 3 所列的字符集分类情况, 如图 3 所示, 边分段边执行向前检验算法和模式编码:

- 1) 从第一段开始, 执行向前检验算法(转至 2)
2) 向前检验算法:

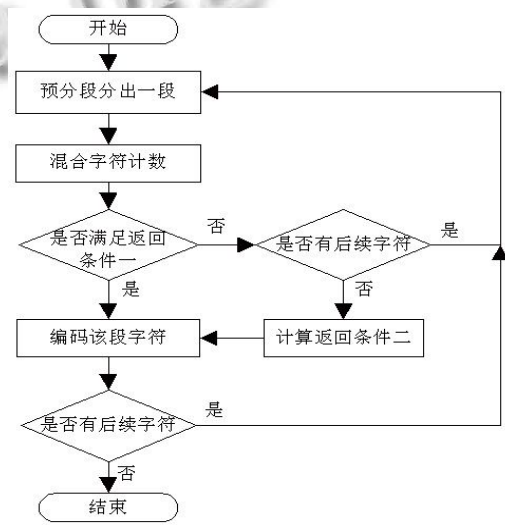


图 3 字符二维码模式选择流程图

a 向前预读一字符段,

① 若是预读的第一段字符段, 假设预读的字符段为 A , 初始化计数值:

$$\varphi_1(X_1) = T(X_0, X_1) + X_1(A) \quad (5)$$

编码模式序列为 (X_1) .

当某种模式 X_1 不能编码字符段 A 时, 则 $\varphi(X) = \infty$, 若预计编码模式与当前模式相同, 则 $T(X) = 0$. 转至 b.

② 若当前要段为预读的第 $K+1$ 段, 该字符段为 A , 那么混合的计数情况为:

$$\varphi_{k+1}(X_{k+1}) = \underset{\forall X_k \in D}{\text{MIN}} \{ \varphi(X_k) + T(X_k, X_{k+1}) \} + X_{k+1}(A) \quad (6)$$

最优模式编码序列为 $(X_1, \dots, X_k, X_{k+1})$.

当某种模式 X_{k+1} 不能编码字符段 A 时, 则 $\varphi(X_{k+1}) = \infty$. 当 $X_k = X_{k+1}$ 时, $T(X_k, X_{k+1}) = 0$. 转至 b.

b 计算返回条件一: 当某一计数符合返回条件, 即某一计数值+9 少于等于其他任何计数值, 则返回与

该计数值对应的模式选择结果. 若满足返回条件则转至 3, 不满足返回条件若还存在后续字符段, 转至 a, 否则转至 c.

c 计算返回条件二: 取计数值最小的模式返回结果.

3) 按向前检验返回结果, 编码该段字符, 若还存在后续字符段, 转至 a, 否则结束编码.

3 字符二维码编码模式选择分析

3.1 字符二维码编码模式选择与 DM 码实验比较

表 4 和图 4 给出了应用字符二维码编码模式选择算法针对不同字符集, 长度为 20 的随机字符串进行一百万次测试后的编码长度与 DM 码的编码长度的比较结果(以 8 位二进制为一个码字, 以码字为单位).

表 4 应用字符二维码模式选择与 DM 码编码效果实验比较

码字长度差	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
字母、数字、空格、全部标点共 95 个(图 a)	15	444	5023	25440	190057	743269	5956	1610	3356
大写、字母数字、空格、常用标点共 45 个(图 b)	13	8	18154	9998	300982	413438	154739	61305	34373
字母、数字、空格共 63 个(图 c)	7144	13238	181179	122793	364528	208469	10978	13430	13302
大小写字母共 52 个(图 d)	814	3327	60056	67204	164346	648845	8448	10445	9432

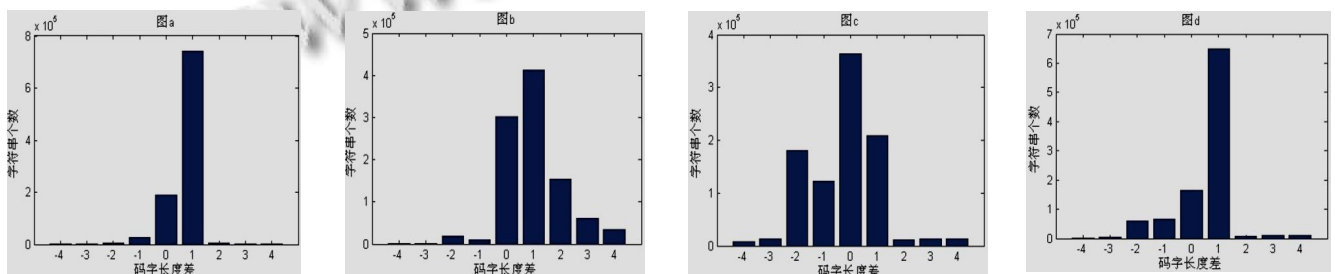


图 4 应用字符二维码编码模式选择与 DM 码编码效果实验比较

其中的码字长度差是以 DM 码的码字长度减去字符二维码的编码码字长度, 数值为正时表示字符二维码的编码长度短于 DM 码.

上图中, 对于不同的字符集, 字符二维码的编码在多数情况下具有同于 DM 码或者优于 DM 码编码一个码字的编码长度. 这是由于字符二维码全模式编码每个字符需 7 个二进制位, 而 DM 码 ASCII 模式平均每个字符需 8 个二进制位, 而这两个模式是在实验中应当是使用频率最高的模式, 于是造成了编码长度普遍差一个码字, 实验结果表明, 字符二维码的编码模式选择很好的符合了理论编码情况. 因此, 字符二维码的编码模式选择算法较好的进行了字符二维码的编码模式选择.

4 总结

本文在 Data Matrix“向前检验”算法的基础上, 基于多阶段决策的理论, 引入混合模式计数方法, 提出了一种适合字符二维码的向前检验算法, 应用于字符二

维码的模式选择. 通过对算例进行实验分析表明, 该算法可以找到最优的模式选择结果. 因此, 该算法较好的解决了字符二维码的模式选择问题. 此外, 我们相信, 字符二维码的模式选择所采用的设计思想, 不仅仅局限于对字符二维码的模式选择, 经过稍加改进, 也将可以应用于优化 DM 码等其他二维条码的模式选择.

参考文献

- 1 裴颂文, 吴百锋. 多维连续型矩阵式条码的编码理论与系统设计. 计算机辅助设计与图形学学报, 2009, 21(7): 1018-1024.
- 2 徐彩虹. 字符二维条码的编解码技术研究[硕士学位论文]. 杭州: 浙江工业大学, 2011.
- 3 International Organization for Standardization. ISO/IEC 16022-2000 Information technology international symbology specification-Data Matrix. Switzerland: Joint Technical Committee ISO/IEC JTC 1, 2004.

(下转第 87 页)

法, 根据工作人员经验和能力的不同进行排班调派, 以实现计划任务最大完工时间最短, 以及延迟损失最低的优化目标. 算例表明, 本文提出的一类借鉴 Job-shop 的优化调度方法是正确的和有效的, 具有实现的可行性.

参考文献

- 1 宋晓宇, 孟秋宏, 曹阳. 求解 Job Shop 调度问题的改进禁忌搜索算法. 系统工程与电子技术, 2008, 30(1): 93-96.
- 2 王万良, 赵澄, 熊婧, 等. 基于改进蚁群算法的柔性作业车间调度问题的求解方法. 系统仿真学报, 2008, 20(16): 4326-4329.
- 3 吴秀丽, 孙树栋, 杨展, 翟颖妮. 多目标柔性 Job Shop 调度问题的技术现状和发展趋势. 计算机应用研究, 2007, 24(3): 1-4.
- 4 Eswaramurthy VP, Tamilarasi A. Tabu search strategies for solving job shop scheduling problems. Journal of Advanced Manufacturing Systems, 2007, 6(1): 59-75.
- 5 周辉仁, 郑丕谔, 安小会, 等. 基于遗传算法求解 Job Shop 调度优化的新方法. 系统仿真学报, 2009, 21(11): 3294-3306.
- 6 刘胜辉, 张淑丽, 王波, 等. 单件车间调度问题的改进型病毒进化遗传算法. 电机与控制学报, 2008, 12(2): 234-238.
- 7 赵良辉, 邓飞其. 解决 Job Shop 调度问题的模拟退火算法改进. 计算机工程, 2006, 32(21): 38-40.
- 8 Senthilkumar P, Shahabudeen P. GA based heuristic for the open job shop scheduling problem. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006, 30(3/4): 297-301.
- 9 Chung-Hsing Y. Minimizing job flow time for job oriented scheduling. International Journal of Industrial Engineering: Theory Applications and Practice, 2003, 10(2): 107-114.
- 10 胡燕海, 严隽琪, 马登哲, 等. 基于智能算法的制造系统通用作业调度方法. 上海交通大学学报, 2008, 42(10): 1608-1612.
- 11 曾强, 杨育, 王小磊, 梁学栋. 一类 Job-shop 多目标优化调度方法. 计算机工程与应用, 2010, 46(23): 215-218.
- 4 International Organization for Standardization. ISO/IEC 18004. Information Technology-Automatic Identification and Data Capture Techniques-Bar Code Symbology: QR Code, 2000.
- 5 仇配亮. 信息论与编码. 北京: 高等教育出版社, 2011. 33-42.
- 6 邓成梁. 运筹学原理和方法. 武汉: 华中理工大学出版社, 1996. 215-217.
- 7 周培德. 算法设计与分析. 北京: 机械工业出版社, 1996. 41-95.
- 8 陈端荣, 谢长生, 裴先登, 肖卫军. 多阶段决策方法用于 6:8 优化映射等重调制码的设计. 计算机学报, 2005, 28(2): 220-226.

(上接第 73 页)