

# 研究人工智能的一条新途径

丁莹

(东南大学附属南京第二医院, 江苏南京 210003)

**摘要:**计算机的所有功能都是由指令组成的程序实现的,从计算机功能角度去研究人工智能的基本要素具有探索意义。在区分了人类智力表示和人工智能问题的概念及描述了计算机功能序的概念后,证明了人类智力表示不能都由计算机实现;证明了从计算机功能研究已解决和将得到解决的人工智能问题的可行性,并找到了这些人工智能问题与计算机功能序之间的关系。在基于文中提出的指令集功能完全性和独立性概念描述了极小指令集概念之后,证明了通用计算机所有计算功能的实现只需要5种基本指令。由于指令集代表了计算机所具有的全部功能,从而建立了极小指令集与人工智能问题之间的联系。文中的讨论表明从研究极小指令集中的指令的特性和深入探讨指令有限重复排列的行为规律去研究人工智能是一条可行的途径。

**关键词:**人工智能;人类智力;映射;指令集

**中图分类号:**TP39

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2012)03-0133-04

## A New Avenue of Researching on AI

DING Ying

(The Second Hospital of Nanjing, Southeast University, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** All computer functions are realized by programs that consist of instructions. Researching on essentials in AI from computer function possesses the value in theory. After distinguishing human intelligence representation and AI problem and describing computer function order, it was demonstrated that computer couldn't realize all human intelligence representations. The feasibility of researching on AI problems in which some have already been solved and other will have been from computer function was proved, and the relationship between computer function orders and them was described. After advancing least instruction set based on the concepts of independence and function completeness of instruction set presented in this paper, it was proved that five simple instructions could perform all computing functions in general purpose computer. As all abilities of computer can be represented by its instruction set, the vinculum between AI problem and least instruction set is found. The discussions in this paper show that studying AI from researching the characteristics of instructions in least instruction set and exploring the act rules of finite replaceable permutation of instructions is a feasible route.

**Key words:** AI; human intelligence; mapping; instruction set

## 0 引言

自从术语“人工智能”于1956年被正式使用以来,人工智能已形成一个令众多学者感兴趣的学科。

该学科的研究基本从两个方面进行:

- (1) 研究和总结人类思维的普遍规律;
- (2) 用计算机模拟这些规律的实现<sup>[1]</sup>。

由于(1)所研究的是用某些方式描述(表示)人类智力,它在一些其它学科同样被深入研究,所以“用电脑模拟人脑”<sup>[2]</sup>、“完成需要人类智力的任务”<sup>[3]</sup>是人工智能的主要特征。迄今为止,人工智能所取得的有

影响的成果,例如自然语言的机器翻译、数学定理的机器证明、模式识别程序和下棋程序等等,无一不与计算机有关。

在人工智能研究中,计算机是目前模拟实现人类智力的唯一工具,能否从研究和总结计算机所具有的功能去研究人工智能呢?一部计算机的指令系统代表了该机器所具有的功能,指令系统中关键的指令又是哪些?这就是文中要讨论的两个问题。

## 1 人工智能问题与计算机功能序

智力主要指人们在解决实际问题时所具有的辨析、判断、领悟和发明创造的能力<sup>[4,5]</sup>,知识和技能本身不等于智力<sup>[4]</sup>。对人类智力的描述称为人类智力表示。计算机根据人类智力表示解决的问题称作人工智能问题。只有用计算机实现了某个人工智能问题,该

收稿日期:2011-07-24;修回日期:2011-10-26

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)(2009AA043303);  
软件开发环境国家重点实验室开放课题(SKLSDE-2011KF-04)

作者简介:丁莹(1960-),女,江苏南京人,工程师,研究方向为数据库系统、人工智能。

人工智能问题才算得到解决。

记已解决的人工智能问题的集为  $P_A$ , 与这些问题对应的人类智力表示的集为  $M_A$ 。由于一个问题往往有多种表示, 所以在卡氏集  $M_A \times P_A$  上存在满射

$$h_1: M_A \rightarrow P_A$$

记计算机所具有的功能的集合  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ , “ $f_p \prec f_q$ ” 表示 “ $f_p$  在  $f_q$  前”, 那么计算机实现方法  $i$  的步骤  $s_i$  (或称功能序) 可以表示如下:

$$f_{i1} \prec f_{i2} \prec \dots \prec f_{ij} \quad (j \in N, f_{ij} \in F)$$

若一种人类智力表示有多个功能序实现, 则取其中之一作为代表, 该功能序称代表功能序。代表功能序保证了与其对应表示的唯一性。

记用计算机模拟解决  $P_A$  的代表功能序的集为  $S_A$ , 则有

定理 1.1 卡氏集  $M_A \times S_A$  上存在一个子集  $g_1$ , 使得

$$\forall m (M'_A \subset M_A \wedge m \in M'_A \Rightarrow \exists ! s_m \wedge (m, s_m) \in g_1)$$

证明: 因为  $h_1$  是满射, 即一个问题往往有多种表示, 但每种表示不一定都有相应的计算机功能序。集中所有具有相应的代表功能序的人类智力表示, 就有了  $M'_A \subset M_A$ ; 又因所解决问题的一种表示  $m$  只会对应一个计算机代表功能序, 所以  $M_A \times S_A$  上存在子集  $g_1$ 。

定理 1.2 定理 1.1 是双射映射。

证明: 定理 1.1 已表明  $g_1$  是映射, 即有  $g_1: M'_A \rightarrow S_A$ ; 对于  $m_1 \in M'_A, m_2 \in M'_A, m_1 \neq m_2$ , 反设  $g_1(m_1) = g_1(m_2)$ 。因有  $m_1 \neq m_2$ , 也就是或人工智能的问题不同, 或描述同一问题的方法不同, 那么用计算机模拟实现  $m_1$  的代表功能序与  $m_2$  的就不一样, 即  $g_1(m_1) \neq g_1(m_2)$ , 矛盾, 所以  $g_1$  是单射; 根据代表功能序的概念,  $g_1$  显然是满射。

推论 1.3 存在  $g_1^{-1}$ 。

定理 1.4 存在满射  $l_1: S_A \rightarrow P_A$ 。

证明: 因为有  $M'_A \subset M_A$ , 所以有  $h_{11}: M'_A \rightarrow P_A$ 。又根据推论 1.3 有  $g_1^{-1}: S_A \rightarrow M'_A$ , 所以存在复合映射  $l_1 = h_{11} \circ g_1^{-1}: S_A \rightarrow P_A$ ; 又因  $h_{11}$  是满射, 所以  $l_1$  是满射。

定理 1.4 表明计算机代表功能序与已解决的人工智能问题之间存在关系  $l_1$ , 从计算机的功能去研究已解决的人工智能问题在理论上是可行的。计算机所具有的功能是否能够模拟所有的人类智力呢? 这需要对计算机的功能进行深入研究, 并对人类智力进行界定及研究了两者之间的关系之后才能得到答案。

记人工智能问题的集为  $P_H$ 。记计算机能解决的问题的集为  $P_C$ , 实现这些解的计算机代表功能序集为  $S$ 。有几个明显的性质:

(i)  $P_A \subset P_H$ ;

(ii)  $S_A \subset S$ ;

(iii) 存在  $g': M_A \rightarrow S, g'$  不是满射;

(iv) 由于解决同一个问题会有不同的方法, 每一个方法都对应一个代表功能序, 所以有  $|S| > |P_C|$ 。

假设对所有人类智力现在都有方法表示, 并记其集为  $M$ , 在卡氏集  $M - M_A \times P_H - P_A$  上有

$$h_2: M - M_A \rightarrow P_H - P_A$$

定理 1.5  $M' \subset M - M_A$ , 如果不存在  $g_2: M - M_A \rightarrow S$ 。

证明: 设不存在  $g_2: M - M_A \rightarrow S$ , 即不满足单值性或  $|\text{Dom}(g_2)| < |M - M_A|$ 。由于一个方法对应一个代表功能序, 则只能是  $m' \in M - M_A$ , 使得  $g_2(m') \notin S$ 。集中所有的  $m'$ , 就形成了  $M'$ 。

定理 1.6 存在  $g_2: M - M_A - M' \rightarrow S$ 。

定理 1.5 和定理 1.6 表明人类智力表示不一定都能由计算机功能序实现。例如在机器翻译中, 有人借助双向词典和语法知识, 采用源语句直接转换为目标语句的方式设计了自然语言之间互译的表示方法, 用计算机模拟实现后出现了令人啼笑皆非的结果<sup>[2]</sup>。典型例子如下: 把英语句子 (i) 译为俄语, 再把俄语句子译回为英语, 就成为句子 (ii) 了。

(i) The spirit is willing but the flesh is weak. (心有余而力不足。)

(ii) The vodka is good but the meat is rotten. (伏特加酒是好的, 肉是变质的。)

定理 1.7  $p \in P_H - P_A$ 。计算机不能模拟解决  $p$ , 当且仅当  $m' \in M' \Rightarrow (m', p) \in h_2 \wedge m' \in M' \wedge m' \notin M - M'$ 。

证明: 计算机不能模拟解决  $p$ , 则对应  $p$  的所有方法  $M'$  一定包含于  $M'$  且不包含于与  $S$  有关系  $g_2$  的  $M - M'$ ; 当  $(m', p) \in h_2$  且  $m' \notin M - M'$  时, 表明只能是  $m' \in M'$ , 因此  $p$  不能被计算机模拟解决。

在存在人类智力表示的前提下, 计算机只能模拟解决部分人类智力问题。由于 Turing 机器与计算机之间的主要区别在于前者具有用于解决问题的无限大的存储空间和无限多的时间, 因此从功能角度看, Turing 机器意义下的计算不包含人类智力。

记已解决和将得到解决的人工智能问题集为  $P_{A-F}$ , 对应解决这些问题的方法的计算机代表功能序为  $S_{A-F}$ 。

定理 1.8 存在满射  $l: S_{A-F} \rightarrow P_{A-F}$ 。

证明与定理 1.4 的类似。

对于已解决和将得到解决的人工智能问题, 找到了计算机功能序与它们之间的关系  $l$ ; 通过对计算机功能的深入研究, 也许能回答计算机不能模拟一些人类智力的深层次的原因。

## 2 通用计算机的极小指令集

用计算机解题都必须使用计算机语言编写程序。不论采用何种语言编写程序,都需要通过变换(翻译)使它们成为计算机认识的、由“0”、“1”组成的机器指令<sup>[6]</sup>,因此通用计算机的指令集代表了计算机解题的全部能力,即代表了计算机所具有的基本功能。下面从功能方面寻找通用计算机指令集中既具有基本功能、又无法由其它指令编程实现的基本指令,并希望通过对由它们所组成的集的分析,研究人工智能。

### 2.1 约定与定义

为使问题讨论清楚,需设置一些约定和定义,以确定所讨论的范围。另外,为了方便,用指令集的助记符进行讨论。

定义1<sup>[7]</sup>对整数、有理数、实数和复数进行的加、减、乘、除运算称作算术。

定义2<sup>[7]</sup>用算术求解各类数学问题的近似值的方法称作数值分析。

定义3能进行数值分析、布尔逻辑运算并具有输入/输出功能的计算机称作通用计算机。

我们约定,将要讨论的通用计算机的寄存器空间、存储空间与I/O空间采用统一编址方法,并设将讨论的基本指令集 $I_s = \{\text{MOV}, \text{NOT}, \text{AND}, \text{ADD}, \text{JMPcc}\}$ <sup>[8]</sup>, $I_s$ 中指令的操作如表1所示。为了讨论简便,在地址码部分设有累加器Acc,在进行累加器、一般寄存器、存储器和I/O口之间数据交换时,必须通过MOV指令实现,这样并不改变通用计算机指令集的本质。

表1  $I_s$  中的指令的操作

指 令	操 作 说 明
MOV dest,src	dest ← src ;不影响标志
NOT Acc	Acc ← $\neg$ Acc ;按位取反,影响标志
AND Acc,src	Acc ← Acc $\wedge$ src ;按位与,影响标志
ADD Acc,src	Acc ← Acc + src ;影响标志
JMPcc dest	满足条件cc转dest ;不影响标志

定义4指令集 $I$ 能直接实现或通过编写程序实现功能 $F$ ,则称 $I$ 对于 $F$ 具有功能完全性。

定义5若 $i \in I$ , $i$ 不能由指令集 $I$ 中的其他指令编写程序实现,则称指令 $i$ 相对于 $I$ 中其它指令独立。

定义6指令集 $I$ 中的任一条指令都相对于 $I$ 中其它指令独立,则称 $I$ 具有独立性。

定义7指令集 $I$ 具有独立性且对于功能 $F$ 具有功能完全性,则称 $I$ 为满足 $F$ 的极小指令集。

### 2.2 有关 $I_s$ 的讨论

#### 2.2.1 $I_s$ 的功能完全性的讨论

引理2.1 整数四则运算能由 $I_s$ 编程实现。

证明:能进行加法运算显然,因 $I_s$ 中有整数加法指令;构造性证明减法能编程实现如下(即实现减法

指令SUB Acc,src-在计算机原理中,人们巧妙地采用编码方法把逻辑运算和算术运算结合在一起,用加法操作实现减法操作。详情可参阅文献[9]):

MOV Acc, SRC

NOT Acc

ADD Acc, 1

MOV op, Acc

ADD Acc, op

由于 $n \times m$ 认为是取 $m$ 个 $n$ 相加,所以乘法也可编程实现;除法是乘法的逆运算,可以由减法完成,因此它也能编程实现。

引理2.2 数值分析中对实数的计算可由 $I_s$ 中的指令编程实现。

根据定义2,求近似值是数值分析的主要特点,因此存在计算精度。数值分析中对实数进行算术运算时,可以首先把实数扩大 $n$ 倍,使其成以满足计算精度的整数进行计算,然后再把计算结果缩小相应的倍数,就完成了满足计算精度的对实数的计算。上述过程是把对实数的运算化为整数运算。在计算机应用技术中,就是采用与此方法类似的浮点数运算库对实数进行近似计算。

引理2.3 数值分析中对复数的计算可由 $I_s$ 中的指令编程实现。

证明:除对虚数的处理外,复数计算可以归结为实数计算,因此只要讨论虚数 $i$ 。在计算中出现 $i^n$ ( $n$ 是整数)时,采用如下算法:

$n \div 4$  取余数 $r$ ;

若 $r = 0$ ,用1参加计算,计算结果中不出现 $i$ ;

若 $r = 1$ ,用1参加计算,计算结果中出现 $i$ ;

若 $r = 2$ ,用 $-1$ 参加计算,计算结果中不出现 $i$ ;

若 $r = 3$ ,用 $-1$ 参加计算,计算结果中出现 $i$ 。

算法中的“出现 $i$ ”只是对虚数符号的处理,不是计算的本质问题,编写简单的程序就可以解决。算法中还出现了除法和判断(用减法),根据引理2.1和引理2.2,这些计算都可由 $I_s$ 中的指令编程实现。

引理2.4  $\{\text{AND}, \text{NOT}\}$ 集在二值逻辑运算中是完全的(AND和NOT指令的逻辑功能可以分别类比二值逻辑中的连接词 $\wedge$ 和 $\neg$ , $\wedge$ 和 $\neg$ 的完全性证明可参阅文献[10])。

定理2.5 指令集 $I_s$ 具有通用计算机的功能完全性。

证明:根据定义3,通用计算机指令集应具有数值分析、逻辑运算和输入/输出功能。由于已设通用计算机采用寄存器空间、存储空间和I/O空间统一编址方法,所以 $I_s$ 中的MOV指令即可实现对I/O空间的输入/输出功能;再由引理2.1~引理2.4并依据定义4,

指令集  $I_s$  能直接实现或能编程实现通用计算机的功能,因而  $I_s$  具有通用计算机的功能完全性。

### 2.2.2 $I_s$ 的独立性的讨论

引理 2.6  $I_s$  中的 MOV 指令相对于  $I_s$  中其他指令独立。

证明:MOV 是二地址指令,与  $I_s$  中的单地址指令相对独立显然。二地址指令“ADD Acc,src”与“AND Acc,src”的目标地址都是累加器,仅考虑目标地址,若 MOV 中的目标地址是存储器,就与其他的二地址指令完全不同,即便由运算指令和无条件转移指令组成程序也不可能实现存储器寻址。所以 MOV 相对独立于  $I_s$  中的其他指令。

引理 2.7 ADD 指令相对与  $I_s$  中的其他指令独立。

证明:ADD 是二地址指令,与  $I_s$  中的单地址指令相对独立显然。AND 是按位逻辑与指令,由 NOT、AND、MOV 和条件转移指令编程无法实现加法操作,所以 ADD 指令在  $I_s$  中独立。

引理 2.8 AND 指令相对与  $I_s$  中的其他指令独立。

证明:AND 是二地址指令,与  $I_s$  中的单地址指令相对独立显然。ADD 是加法指令,由 NOT、ADD、MOV 和条件转移指令编程无法实现按位逻辑与操作,所以 AND 指令在  $I_s$  中独立。

引理 2.9 NOT 指令相对于  $I_s$  中其他指令独立。

证明:考虑下面程序

MOV Acc,00H

NOT Acc

该程序执行结果  $Acc = 0FFH$ 。反设 NOT 指令可由  $I_s$  中其它指令编程实现,则在 Acc 为 0 时,一定会通过逻辑类指令 AND 指令实现,即有 AND Acc,src 的运行结果为 0FFH,这与 AND 的功能矛盾。所以 NOT 指令相对于  $I_s$  中其它指令独立。

引理 2.10 JMPcc 指令相对于  $I_s$  中其他指令独立。

证明:除 JMPcc 指令外,  $I_s$  中的其它指令均不对程序计数器操作,即没有转移功能,因此 JMPcc 指令相对于  $I_s$  中其它指令独立。

定理 2.11  $I_s$  具有独立性。

由引理 2.6 ~ 引理 2.10 并根据定义 6,此定理可证。

### 2.2.3 极小指令集讨论

定理 2.12  $I_s$  是通用计算机的极小指令集。

由定理 2.5 和定理 2.11 并根据定义 7,此定理立即可证。

推论 2.13 计算机上运行的程序都能由  $I_s$  实现。

记  $W$  为计算机能完成的工作。

推论 2.14 实现  $W$  的步骤仅由  $I_s$  中的指令行为有序组成。

推论 2.15 对任一  $p \in P_{A-F}$ ,  $p$  能由极小指令集中的指令组成的程序模拟解决。

从极小指令集角度,现在可以直观地、粗略地判断某些人类智力能由计算机模拟。例如解决逻辑判断和演绎推理类人工智能问题主要采用逻辑运算、逻辑判断和算术运算方法,这些方法在极小指令集中都有相应的指令,所以它们能由计算机模拟解决。属这类问题的国际象棋对弈、类比学习和几何定理证明都已得到解决;尽管计算机围棋对弈的状态空间比国际象棋对弈大得多,但是若能不断深入研究<sup>[11]</sup>,也必将取得与深蓝计算机一样的辉煌成果。但是有一些人类智力,例如 Simon 提出的直觉、顿悟和灵感<sup>[12]</sup>,是否能由现在的计算机模拟实现呢?这既是令人怀疑也是非常值得研究的课题。

引理 2.16 {OR,NOT} 集在二值逻辑运算中是完全的<sup>[9]</sup>。

定理 2.17 通用计算机的极小指令集的个数大于 1。

证明:由引理 2.15 知 {OR,NOT} 集在二值逻辑中也是完全的;在由 OR 取代  $I_s$  中的 AND 后形成的新指令集中,指令相对于其他指令独立,所以新指令集也是极小指令集。

## 3 结束语

文中的主要结论如下:人类智力表示不一定都能由计算机实现;从计算机所具有的功能去研究人工智能在理论上是可行的;已解决和将得到解决的人工智能问题与计算机功能之间存在关系  $l$ ;实现通用计算机所有计算功能的基本操作只需 5 种(不是唯一的),如数据传送、算术加、布尔非、布尔与和条件转移,从程序的本质分析,所有在计算机上正确运行的程序,包括解决人工智能问题的程序,都可以归结为是对这 5 种简单的操作进行重复排列后完成的,因而从计算机极小指令集去研究人工智能是一条新途径。

研究极小指令集中的指令(特别是传送指令)的特性、深入讨论有限指令重复排列的行为规律及这些规律与解决人工智能问题的关系是下一步要做的工作。定理 1.5 ~ 定理 1.7 是在所有人类智力都有表示假设下得出的。是不是所有人类智力都有方法表示?人类智力又是如何界定?回答这些问题,需要多个学科的研究者的共同努力。笔者认为,对这些问题研究的深入展开,必将对人工智能学科的发展产生积

(下转第 140 页)

调用 QPixmap. loadFromDate ( bytearray2 ) 函数获取数据,再加载到 QLabel 显示, QLabel. setPixmap ( QPixmap )。

当 ARM 远程端不断采集图像数据,PC 终端不断接收并显示图像数据,就能在 PC 终端形成视频流。

## 5 系统结果与展望

通过超级终端下载采集应用程序到开发板 Linux 操作系统里。通过 ping 命令查看网络连接是否正常。

打开 PC 终端 Qt 应用程序,点击 Start 按钮,服务端处于侦听状态,启动 ARM 板上应用程序,就能在 PC 终端看到清晰稳定的视频流。

本项目的下一步工作是研究图像编码和解码,提高帧传输速率,以提高清晰度。加入报警模块。ARM 处理器对图像进行处理,定位出人脸区域,提取出人脸特征,并将其与数据库中用户的人脸特征进行对比<sup>[13]</sup>,如果不符合,则立即通过 Internet 向用户发送报警信息。

## 6 结束语

文中详细分析了视频监控系统的实现步骤,从基于 V4L2 的应用程序图像采集,到使用 socket 发送图像数据,以及最后的 Qt 的接收图像数据并显示图像,从而实现了整个视频监控系统。详细分析了基于 V4L2 的 USB 摄像头的图像具体采集过程和采集流程、面向连接的 socket 编程基本流程和 QTcpSocket 类。

嵌入式视频监控在安防系统中具有巨大的应用价值。

## 参考文献:

- [1] 唐人财,刘连浩. 基于嵌入式 Linux 远程图像监控系统的设计[J]. 计算机与现代化,2010(11):31-38.
- [2] 伍 俭,罗桂娥. 基于 B/S 模式的嵌入式视频监控系统的的设计[J]. 微型机与应用,2010(4):74-76.
- [3] 杨 念,李 峰. 基于 B/S 的嵌入式视频监控系统的的设计与实现[J]. 计算机工程与设计,2008,29(21):5576-5579.
- [4] 李华毅. 基于嵌入式技术的智能家居监控系统的设计与实现[D]. 武汉:武汉理工大学,2008.
- [5] 焦 焰,易小波,李仁发. 基于嵌入式 Internet 的远程视频监控系统设计[J]. 计算机技术与发展,2009,19(5):176-179.
- [6] Ji Wangkang, Yang Jia, Hong Yongqiang. BSP development of WinCE system for vehicle navigation device based on S3C2440 [C]//8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments. [s. l.]: [s. n.], 2007:389-391.
- [7] Dirks B, Schimek M H, Verkuil H, et al. Video for Linux Two API Specification (Revision 0.24) [S]. 2008.
- [8] 洪毅虹,曹 茜. Linux 下视频监控系统的研究与设计[J]. 电脑编程技巧与维护,2010(18):40-41.
- [9] 刘学勇,陈建伟. 精通 Linux C 编程[M]. 北京:清华大学出版社,2009.
- [10] 华清远见嵌入式培训中心. 嵌入式 Linux 应用程序开发标准教程[M]. 第 2 版. 北京:人民邮电出版社,2009.
- [11] 彭铁钢,刘国繁,曹少坤,等. 基于 ARM 的嵌入式视频监控系统设计[J]. 计算机工程与设计,2010,31(6):1191-1193.
- [12] Nokia Corporation. Qt 4.6: All Qt Classes [CP/DK]. 2010.
- [13] 刘 成,鲍可进. 基于图像处理的嵌入式自动报警系统设计[J]. 计算机工程与设计,2007,28(17):4198-4199.

(上接第 136 页)

极的影响。

## 参考文献:

- [1] 陆汝铃. 人工智能(上)[M]. 北京:科学出版社,1995.
- [2] Rich E. Artificial intelligence [M]. [s. l.]: McGraw-Hill, 1983:340-341.
- [3] Illingworth V. Dictionary of Computing [M]. 4th ed. Oxford: Oxford University Press, 1996.
- [4] 中国大百科全书·心理学[M]. 北京:中国大百科全书出版社,1991.
- [5] 王同忆. 新世纪现代汉语词典[M]. 北京:京华出版社,2001.
- [6] Reed D. A balanced introduction to computer science [M]. 3rd ed. [s. l.]: Prentice Hall, 2011.
- [7] Lapedes D N. McGraw-Hill Dictionary of Physics and Mathematics [M]. New York: McGraw-Hill Inc, 1978:686-689.
- [8] 洪 龙,陈燕俐,朱梧楦. 80486 极小指令集及其构造性证明[J]. 南京邮电大学学报,2006,26(4):57-64.
- [9] Tanenbaum A S. Structured Computer Organization [M]. 4th ed. [s. l.]: Prentice Hall, 1999.
- [10] 朱梧楦,肖奚安. 数理逻辑导引[M]. 南京:南京大学出版社,1995:63-78.
- [11] Bouzy B, Cazenave T. Computer go: an AI oriented survey [J]. Artificial Intelligence, 2001, 132(1):39-103.
- [12] Narayanan A. On being a machine (vol 2): philosophy of artificial intelligence [M]. [s. l.]: Ellis-Horwood Ltd., 1990.