

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2017.02.015

医学信号处理与医学仪器

基于程序生成技术的医疗仪器通信协议转换研究

郑建立, 麦龙华, 金嘉伟

上海理工大学医学信息工程研究所, 上海 200093

【摘要】医疗仪器的信息集成已经成为医疗信息化的重要组成部分。为了解决非影像类医疗仪器信息接口不统一、数据信息集成困难等问题,本研究设计并实现了基于程序生成技术的医疗仪器通信协议转换技术,根据用户的配置,通过程序生成技术生成与特定设备相匹配的协议转换程序,将设备私有数据帧格式转换到标准的HL7 ORU^R01消息,具有良好的通用性。本研究为医疗仪器提供统一的HL7标准接口,使其能与医疗信息系统实现无缝对接,降低医学信息集成的难度,具有良好的应用前景。

【关键词】医疗仪器;信息集成;HL7;通信协议转换;程序生成

【中图分类号】TP311.52

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)02-0188-06

Communication protocol conversion for medical instruments based on program generation technique

ZHENG Jianli, MAI Longhua, JIN Jiawei

Institute of Medical Information Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China

Abstract: Information integration in medical instruments has become a crucial component of medical information. To solve the problems of nonstandard information interface and difficulty in information integration for medical instruments other than imaging equipment, a communication protocol conversion technique was implemented based on program generation technique. Customized configuration files for a specific medical instrument was produced by program generation, and the specific protocol conversion program optimized for that instrument was generated for transferring the private data format into standard HL7 ORU^R01 message. The unified HL7 standard interface for medical instruments enables the seamless integration between medical instrument and the information system and reduces the difficulty in information integration.

Keywords: medical instrument; information integration; HL7; Communication protocol conversion; program generation

前言

随着医疗仪器数字化、信息化的快速发展,具备数据输出功能的医疗仪器也越来越多。除了影像类医疗仪器广泛采用DICOM标准外,其他医疗仪器的信息接口标准化程度相对滞后,目前在用的医疗仪器仍然缺乏占据主导地位、被广泛采用的标准数据接口,不同厂家的产品采用不同的协议和通信方式,造成了医疗仪器信息集成的困难^[1]。随着医疗信息化的不断推进,诸如数字化手术室系统、检验信息系

统、血液透析管理系统等的临床信息系统迫切需要与麻醉机、监护仪、生化分析仪、血透机等医疗仪器紧密集成,实时准确地采集设备的输出数据,避免人工输入而导致医疗差错的发生。

针对上述医疗仪器信息集成的难题,国际组织医疗健康信息集成协会(Integrating the Healthcare Enterprise, IHE)开发了病人护理设备(Patient Care Device, IHE-PCD)技术框架^[2-3],基于HL7和ISO/IEEE 11073标准为医疗仪器设备集成提出了一系列解决方案,称为集成模式,其中的设备数据通信(Device Enterprise Communication, DEC)和波形内容模块(Waveform Content Module, WCM)集成模式就是专门用来解决医疗仪器与临床信息系统之间的数据传送问题^[4]。IHE-PCD提供的解决方案得到了业

【收稿日期】2016-11-07

【基金项目】上海市科委科技支撑项目(15441900604);宝山区科委产学研合作项目(bkw2014105);校科技发展基金(16KJFZ112)

【作者简介】郑建立,男,副教授,博士,研究方向:医学信息集成技术,
E-mail: zhengjianli163@163.com

界主流厂商越来越多的关注,反映了未来医疗仪器信息标准化的趋势,对新的医疗仪器的开发具有重要指导意义,但对于已经定型生产和在用的医疗仪器的信息集成问题,仍需要研究符合 IHE-PCD 标准的通用医疗仪器协议转换技术。

厂商自行定义的医疗仪器信息接口自由度较大,难于直接编写通用的接口程序,在工程应用中通常是为每种设备开发专用的信息接口程序,开发成本高、可扩展性差。换个思路来看:每一种仪器的通信协议也就是该仪器专门语言的文法,每一个数据帧就是按照该文法所产生的一条语句。在解析器领域,通常是描述文法,然后由自动生成工具来产生该文法所对应的解析器程序,LEX 就是此类自动生成工具中应用较多的一种^[5]。本文采用脚本描述帧格式,再用 LEX 生成对应的转换程序,将仪器私有格式的数据帧转换为 IHE-PCD 规定的 HL7 消息。由于帧格式脚本便于通过配置页面,针对特定医疗仪器来方便地定制,这样可以大大降低医疗仪器信息集成的技术门槛,提高可扩展性。

1 总体方案

1.1 总体方案简介

对医疗仪器通信协议进行分析可知,医疗仪器之间通信接口不兼容的原因主要有:(1)通信端口差

异性,硬件上表现为串口、网口、CAN 和 USB 等物理接口不同,软件上体现在接口的通信参数(如串口波特率)的差异。(2)设备间的通信方式差异性,可以分为主动式和被动式,主动式是无需与设备进行命令交互,设备会主动地按照一定的时间规律自动输出特定信息;被动式是需要给设备发送相应指令,设备才能够响应并回传对应信息。(3)数据帧格式差异性,帧格式定义了帧边界以及帧内数据项的分隔方式,主要分为分隔符方式和定长方式,分隔符方式采用特殊的 ASCII 码值或值序列标识帧边界或帧内各数据项;定长方式则通过偏移量和长度来确定。

硬件接口的差异可以通过模块化或冗余的方式比较容易地解决。为了实现通用还需要在软件层面解决剩余的问题,最终输出 HL7 标准消息^[6]。本设计提出了一个通用协议转换技术框架,实现与设备的基本通信以及数据帧的解析和转换等功能,包括通信协议层、信息解析层和协议转换层,如图 1 所示。通信协议层解决通信参数以及通信方式的差异性,实现与设备的基本通信,获取字节流,进行帧的分割并完成数据帧的校验;信息解析层解决帧内数据项的格式差异,将数据帧按照帧格式的文法描述进行解析和类型转换,得到数据项;协议转换层将数据项映射到 HL7 标准消息,实现通用的协议转换。

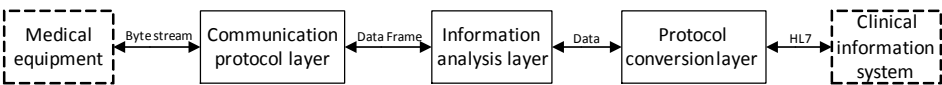


图 1 通用协议转换框架
Fig.1 Universal protocol conversion framework

1.2 通信协议层

通信协议层,主要解决两方面的问题,分别是通信参数和通信方式差异性问题。实现方法如图 2 所示,使用 TAP 领域特定语言作为过程描述的语言^[7-9],对通信的端口配置以及通信方式进行描述,经 TAP 解析器解析,输出的数据对 StringTemplate 模板进行

填充完成通信协议程序的生成^[10-12]。该通信协议程序执行时将获取的数据根据帧头、帧尾完成帧的分割,并根据用户配置的校验方式来对数据的完整性进行校验,校验成功后将数据帧传递给信息解析层,否则将当前的数据丢弃并再次向设备发起信息传输请求。

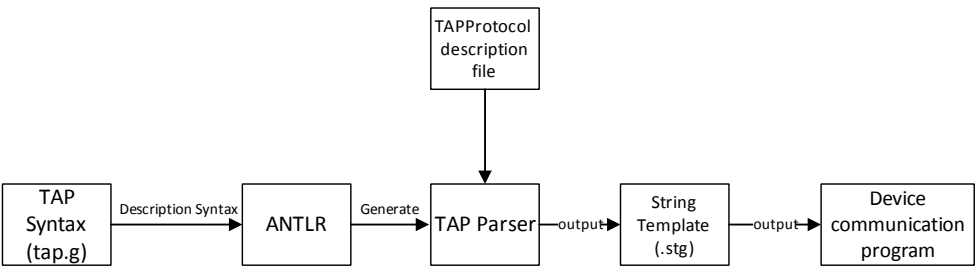


图 2 通信协议层
Fig.2 Communication protocol layer

1.3 信息解析层

信息解析层主要完成的任务是对通信协议层提供的帧信息进行解析,并提取出有效的数据项。如图 3 所示,在该层中使用正则表达式对帧格式进行描述,将帧格式描述文件(lex.l)作为输入,使用解析器自动生成工具 LEX 来生成信息解析器^[13-14]。生成的

解析器能够以原始数据帧作为输入,将帧中的数据进行分割和解析,并将解析得到的有效数据进行按数据项名存储,输出值对,并传递给协议转换层做进一步的处理。

1.4 协议转换层

协议转换层主要实现的就是将解析出的数据转

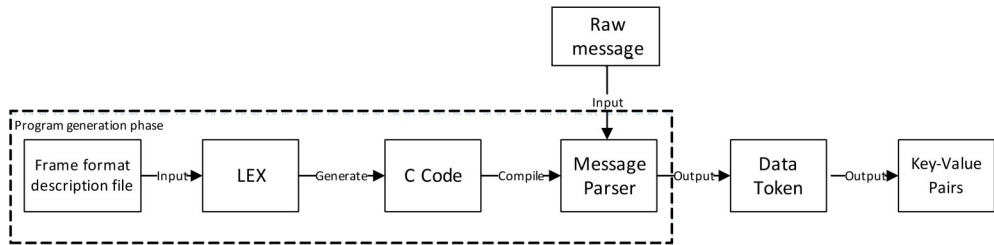


图 3 信息解析层
Fig.3 Information parser layer

换为标准的 HL7 消息格式,其主要工作流程如图 4 所示,根据信息解析层输出值对的 Key 直接映射到 HL7 ORU^R01 消息的段和字段,通过消息模板和字符串替换的方式实现 HL7 消息转换功能。

原始 C 程序代码;第二部分称为规则段,每个规则都由模式和动作组成,两者之间由空格进行分割;第三部分是用户子例程段,由任意合法的 C 代码组成,主要为调用解析器的主程序部分,该部分同样会被直接复制到 C 代码中^[5]。

在帧格式描述规则中存在着规则相同的情况,为了避免 LEX 规则匹配冲突,LEX 提供了起始状态功能。LEX 允许有多种工作模式交替运行,初始工作模式以最优匹配和位置无关的原则执行,而自定义工作模式只有使用了特殊关键字 BEGIN,开启相应模式,相对应的规则才会被 LEX 识别。

2 数据帧格式描述文件

2.1 数据帧格式描述

在信息解析层中,LEX 输入文件所要遵循的规范主要分为 3 个部分,由“%%”进行分割。第一部分称为定义段,该段内容会直接拷贝到最终程序中的

2.2 定长方式数据帧描述

定长方式数据帧中的数据项可用偏移和长度来确定,如 M100 多参数监护板的血压测量值的数据帧格式中,收缩压的偏移量为 3,长度为 2 字节;舒张压的偏移量为 5,长度为 2 字节(表 1)。

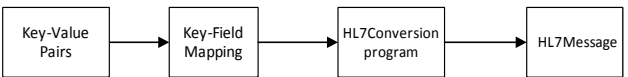


图 4 协议转换层
Fig.4 Protocol conversion layer

表 1 M100 多参数监护板血压数据帧格式

Tab.1 Blood pressure data frame format of a multi-parameter monitor M100

Byte	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Meaning	ID (0x22)	STX (0x02)	SBP HighByte	SBP LowByte	DBP HighByte	DBP Low Byte	MBP HighByte	MBP LowByte	Check code

处理该类型帧的描述文件如下:

```
% #include "lib.h"
%x ID
%x STX
%x SBP
```

```
%x DBP
%x AP
%%
<ID>(\n|.){1} {BEGIN STX;}
<STX>(\n|.){1} {BEGIN SBP;}
<SBP>(\n|.){2} {store("shortbe2str", "OBX_1_5", yytext);BEGIN DBP;}
<DBP>(\n|.){2} {store("shortbe2str", "OBX_2_5", yytext);BEGIN AP;}
<AP>(\n|.){2} {store("shortbe2str", "OBX_3_5", yytext);BEGIN INITIAL;}
%%
void main(){yylex();}
```

文件的第一部分以%x开头的是对起始状态的声明,起始状态的数量与规则的数量相对应。第二部分是利用正则表达式对帧的描述,如:<SBP>(\n|.){2} {store(“shortbe2str”, “OBX_1_5”, yytext,); BEGIN DBP;},表示当模式<SBP>被开启后,规则(\n|.){2}才会参与数据的匹配,该规则是对当前LEX输入流的前2个字节进行截取,将截取的数据(yytext)经过自定义store函数进行高位在先短整型转到字符串

的转换(shortbe2str)和按名存储(OBX_1_5),并开启下一个匹配模式。

2.3 分隔符方式数据帧描述

分隔符方式数据帧中的数据项可用指定分隔符来确定,如德国产某血液透析机的实测数据帧格式中的<SOH>、<STX>、<ETX>、<RS>均为单字节的分隔符,ASCII码分别为0x01、0x02、0x03、0x1E。某次获得的信息帧如下,各数据项见表2。

表2 德国产某血液透析机的实测数据帧中的数据项
Tab.2 Data item in the measurement data frames of the blood dialysis machine (Germany)

ID	Data item	Unit	ID	Data item	Unit
HP	Therapy time	sec	HT	Heparin volume	mL
HQ	UF removed	mL	HU	Arterial pressure	mmHg
HR	UF-rate	mL/h	HV	Venous pressure	mmHg
HS	Blood volume processed	l	...		

```
<SOH>0173<STX>HP0708<RS>HQ3A98<RS>
HR0064<RS>HS0032<RS>HT00000000<RS>
HU0080<RS>HV012C<RS>.....<ETX>1E1181
```

处理该帧的分隔符方式数据帧描述文件结构与定长方式类似,但第二部分中数据项匹配正则表达式不同,数据转换格式也有所不同,此处为十六进制串转十进制字符串(hexstr2str)。

```
.....
\x01 {BEGIN HP;}
<HP>\x02HP([\^x1E]*)/(\x1E) {store("hex-
str2str", "OBX_1_5", yytext);BEGIN HQ;}
<HQ>\x1EHQ([\^x1E]*)/(\x1E) {store("hex-
str2str", "OBX_2_5", yytext);BEGIN HR;}
.....
```

3 HL7协议转换

3.1 HL7 ORU^R01 消息

HL7标准有100多种消息,涉及病人信息管理、医嘱录入、转诊、观察报告等。本文选择IHE-PCD DEC和WCM集成模式所规定的的ORU^R01消息作为标准输出格式^[15]。

ORU^R01消息由多个消息段构成,段之间用回车符(0x0d)分隔。该消息有4种必须的段,分别是消息头(Message Header, MSH)、病人标识段(Patient Identification, PID)、观察请求段(Observation Request, OBR)和观察结果段(Observation/Result, OBX)。MSH段是消息的起始段,该段主要包含发送方标识段、消息类型、消息发送时间和消息控制ID等;PID

段是病人的标识段, 包含有患者姓名和患者 ID 等; OBR 是观察请求段, 该段主要包含医嘱号和服务标识号等; OBX 是整个消息主要数据承载段, 在一个消息中可以包含多个 OBX 段, 每个 OBX 段传送一个测量值及其单位, OBX 段主要由消息段号、观察标识、观察层次、观察值和单位等部分组成。

每一种数据帧格式中包含的数据项的数量及种类都是不同的, 因此需要转换成不同格式的

ORU^R01 消息。但同一种数据帧格式的数据帧实例转换生成的 ORU^R01 消息实例却是大同小异的。为简便实现, 本研究将 ORU^R01 消息中可变部分用字段编号标记后保存为消息模板。如上述定长方式数据帧例子所对应的 HL7 ORU^R01 消息模板如下所示, 其中可变部分有 MSH_7 消息发送时间、MSH_9 消息控制 ID、PID_3 患者 ID、PID_5 患者姓名、OBX_1_5 收缩压、OBX_2_5 舒张压、OBX_3_5 平均压。

```
MSH|^~\&|USST_DEC_Reporter^080019FFFF4F6AC0^EUI-64|||MSH_7||ORU^R01^ORU_R01|MSH_9|P|2.6||N
E|AL|||IHE PCD ORU-R01^IHE PCD^1.3.6.1.4.1.19376.1.6.1.1.1^ISO
PID|||PID_3||PID_5^^^^L|||
OBR|1||080019FFFF4F6AC0201609291336^IntegrateGateway^EUI-6|080019FFFF4F6AC0monitoring^EUI-64||
OBX|1|NM|150017^MDC_PRESS_BLD_SYS^MDC|1.1|OBX_1_5|3872^MDC_DIM_MMHG^MDC|||R||
OBX|2|NM|150018^MDC_PRESS_BLD_DIA^MDC|1.2|OBX_2_5|3872^MDC_DIM_MMHG^MDC|||R||
OBX|3|NM|150019^MDC_PRESS_BLD_MEAN^MDC|1.3|OBX_3_5|3872^MDC_DIM_MMHG^MDC|||R||
```

3.2 转换生成 HL7 消息

上述 ORU^R01 消息模板中的可变部分的实际取值主要由信息解析层的解析结果提供, 如 OBX_X_5。有些由系统自动产生, 如 MSH_7 和 MSH_9; 还有一部分由配置信息提供, 如患者信息 PID_3 和 PID_5。

为了把信息解析层的解析结果准确地映射到 ORU^R01 消息模板的字段编号, 本文直接将字段编号作为信息解析层的数据项的名, 对帧解析结果进行按名存取。

在接收到数据帧并解析得到数据项后, 取出对应于该数据帧的 ORU^R01 消息模板, 用字符串替换方法将各消息模板中字段名用实际取值进行替换,

即可生成转换后的 HL7 ORU^R01 消息。

4 测试结果

以上述 M100 多参数监护板和德国产某血液透析机信息格式为例, 配置好帧格式信息生成对应的转换程序, 进行通信协议的转换测试。

M100 多参数监护板, 在一次血压测量显示的收缩压、舒张压和平均压分别为 120、70、87 mmHg, 读到的血压数据帧如图 5a 所示。信息解析层将该数据帧进行解析后, 输出的结果如图 5b 所示。经协议转换层转换得到的 ORU^R01 消息如图 5c 所示。

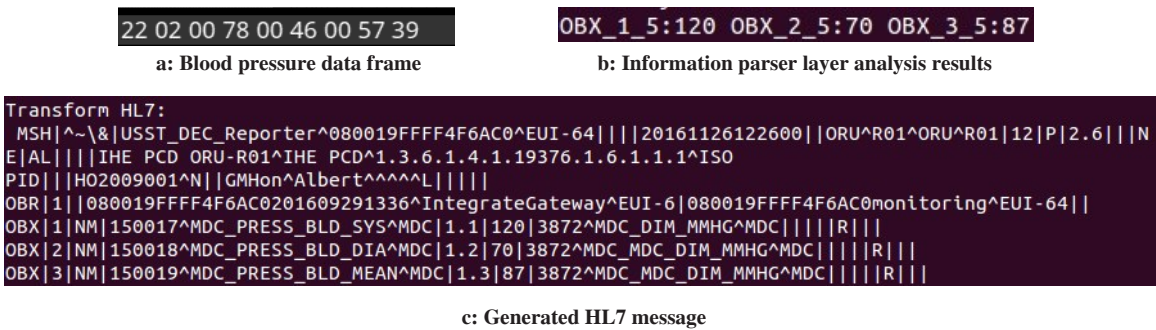


图 5 血压数据帧转换结果

Fig.5 Blood pressure data frame conversion

血液透析机的一次数据采集的原始数据帧的一部分如图 6a 所示, 该数据帧的类型是具有分隔符的帧格式。将该数据帧通过信息解析层解析的结果如

图 6b 所示。将解析出的数据转换得到的 HL7 消息如图 6c 所示 (其中部分血液透析机的相关参数编码 IEEE 11073 组织正在制定中, 将于 2017 年正式发布^[16],

0173 HP0708 HQ3A98 HR0064 HS0032 HT00000000 HU0080 HV012C

a: Input data frame

OBX_1_5:1800 OBX_2_5:15000 OBX_3_5:100 OBX_4_5:50 OBX_5_5:0 OBX_6_5:128 OBX_7_5:300

b: Information parser layer analysis results

```
Transform HL7:
MSH|^~\&|USST_DEC_Reporter^080019FFFFF4F6AC0^EUI-64|||20161129154435||ORU^R01^ORU^R01|12|P|2.6|||NE|AL|||IHE PCD
ORU-R01^IHE PCD^1.3.6.1.4.1.19376.1.6.1.1.1^ISO
PID|||01082||Hon^Albert^^^^^L||||
OBR|1|080019FFFFF4F6AC0201609291336^IntegrateGateway^EUI-64||080019FFFFF4F6AC0201609291336^IntegrateGateway^EUI-64||
OBX|1|NM|TBD^MDCX_DIALY_MACH_THERAPY_TIME^MDC|3|1800|20784^MDC_DIM_SEC^MDC||||R|||
OBX|2|NM|TBD^MDCX_DIALY_UF_ACTUAL_REMOVED_VOL^MDC|3|15000|20796^MDC_MDC_DIM_MILLI_L^MDC||||R|||
OBX|3|NM|TBD^MDCX_DIALYSIS_UF_FLOW_RATE^MDC|3|100|26712^MDC_DIM_MILLI_L_PER_HR^MDC||||R|||
OBX|4|NM|TBD^MDCX_DIALY_BLD_PUMP_BLOOD_PROCESSED_TOTAL^MDC|3|50|21364^MDC_DIM_L^MDC||||R|||
OBX|5|NM|TBD^MDCX_DIALY_ANTICOAG_PUMP_BOLUS_VOL^MDC|3|0|21364^MDC_DIM_MILLI_L^MDC||||R|||
OBX|6|NM|150649^MDC_PRESS_BLD_ART_FEMORAL_SYS^MDC|3|128|19577^MDC_DIM_MMHG^MDC||||R|||
OBX|7|NM|150088^MDC_PRESS_BLD_VEN_UMB^MDC|3|300|19016^MDC_DIM_MMHG^MDC||||R|||
```

c: Generated HL7 message

图6 血液透析机数据帧转换结果

Fig.6 Conversion results of blood dialysis machine data frames

这里使用TBD代替)。转换结果符合要求。

5 结论

本文描述了一种基于程序生成技术的医疗仪器协议转换技术,针对不同医疗仪器,使用者无需编写任何程序,只需要在使用前进行通信方式和帧格式的配置,系统生成TAP协议描述文件、帧格式描述文件和HL7消息模板,并进而自动生成对应的源程序和目标程序。测试表明本方案可以很好地将医疗仪器的私有数据帧格式转换为标准的HL7 ORU^R01消息,具有通用性。

本系统所采用的程序生成技术可以有效地解决当前医疗仪器信息接口不统一、数据信息集成困难等问题,能够为目前的医疗设备提供统一标准的信息接口,对于信息的集成具有良好的应用价值。

【参考文献】

- [1] 廖芸, 郑建立. 基于JS引擎的医疗仪器协议转换技术研究[J]. 信息技术, 2013(3): 66-69.
LIAO Y, ZHENG J L. Protocol conversion of medical instruments on JS engine[J]. Information Technology, 2013(3): 66-69.
- [2] Integrating the Healthcare Enterprise. IHE patient care device [EB/OL]. (2013-01-27)[2016-09-22]. <http://www.ihe.net/pcd/index.cfm>.
- [3] 郑建立, 钟国康, 谢秀秀, 等. IHE互操作性实现机制的研究[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2009, 15(2): 189-194.
ZHENG J L, ZHONG G K, XIE X X, et al. Research on mechanism of IHE interoperability [J]. Chinese Journal of Computed Medical Imaging, 2009, 15(2): 189-194.
- [4] 郑建立, 廖芸, 杨勇. 基于医疗健康信息集成规范的医疗仪器信息集成技术的研究[J]. 生物医学工程学杂志, 2014, 31(3): 671-677.
ZHENG J L, LIAO Y, YANG Y Y. Research on medical instrument information integration technology based on IHE PCD[J]. Journal of Biomedical Engineering, 2014, 31(3): 671-677.
- [5] LEVINE J R, MASON T, BROWN D. Lex 与 yacc[M]. 北京: 机

械工业出版社, 2003.

LEVINE J R, MASON T, BROWN D. Lex and yacc[M]. Beijing: China Machine Press, 2003.

- [6] Health Level Seven International. About HL7 international[EB/OL]. (2014-12-10)[2016-09-22]. <http://www.hl7.org>.
- [7] 周艳明. 基于领域专用语言的应用软件自动生成[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(10): 124-127.
ZHOU Y M. Auto generating application software based on domain specific language[J]. Computer Engineering and Applications, 2003, 39(10): 124-127.
- [8] 赵卫东, 刘永红. 一种领域特定语言的研究与实现[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2013, 32(2): 142-144.
ZHAO W D, LIU Y H. Research and implementation of domain specific language [J]. Journal of Chengdu University (Natural Science), 2013, 32(2): 142-144.
- [9] FOWLER M. Domain-specific languages[M]. Beijing: China Machine Press, 2013.
- [10] PARR T. The definitive ANTLR 4 reference[M]. San Francisco: University of San Francisco, 2013.
- [11] HOFMANN R M. Modeling medical devices for plug-and-play interoperability[D]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2007.
- [12] 曹榕榕, 郑建立, 张璐, 等. 基于ANTLR的HL7按需解析程序自动生成技术[J]. 信息技术, 2016(1): 27-30.
CAO R R, ZHENG J L, ZHANG L, et al. On-demand HL7 parser auto-generation based on ANTLR [J]. Information Technology, 2016(1): 27-30.
- [13] NIVRE J, HALL J, NILSSON J. Maltparser: a data-driven parser-generator for dependency parsing [C]. Proceedings of LREC, 6, 2006: 2216-2219.
- [14] XU L, GU L, CAO K, et al. Multiple CNC code interpreter based on lex & Yacc[J]. Electromach Mould, 2009, 3: 012.
- [15] DOLIN R H, ALSCHULER L, BOYER S, et al. HL7 clinical document architecture, release 2[J]. J Am Med Inform Assn, 2006, 13(1): 30-39.
- [16] SCHLUTER P. IEEE P11073-10101*update[EB/OL]. (2016-01-12)[2016-09-22]. http://www.hl7.org/documentcenter/public/wg/healthcaredevices/IEEE_11073-10101abc.Schluter.HL7-IEEE-Orlando.Orlando.2016-01-12.pptx.

(编辑: 谭斯允)