

DOI:10.11918/j.issn.0367-6234.201901014

从 BIM 模型提取建筑能耗监测静态数据的方法

马智亮^{1,2}, 滕明焜¹, 任 远¹

(1. 清华大学 土木工程系, 北京 100084; 2. 城市轨道交通绿色与安全建造技术国家工程实验室(清华大学), 北京 100084)

摘 要: 为从 BIM (building information model) 模型中提取建筑能耗监测数据的大数据应用所需的建筑能耗监测静态数据, 首先分析建筑能耗监测静态数据需求. 在此基础上, 分析 BIM 数据标准——IFC (industry foundation classes) 标准, 对于 IFC 标准不能满足建筑能耗监测静态数据需求的情况, 根据需求对 IFC 标准进行扩展, 建立基于 IFC 标准的建筑能耗监测静态信息模型. 接着, 基于该模型提出从 BIM 模型提取建筑能耗监测静态数据的方法. 最后, 根据对建筑能耗监测静态数据需求的分析和建立的基于 IFC 标准的建筑能耗监测静态信息模型, 在 Visual Studio 2017 平台上, 借助 xBIM 软件工具包, 用 C# 语言开发从 IFC 文件中提取所需的建筑能耗监测静态数据的程序, 用来对建立的建筑能耗监测静态数据提取方法进行验证. 结果表明, 开发的程序能直接从 IFC 文件中快速提取出需求的建筑能耗监测静态数据. 与传统的在能耗监测系统中人工录入建筑能耗监测静态数据的方法相比, 本研究提出的方法使得获取所需的建筑能耗监测静态数据更便捷高效.

关键词: BIM; IFC 标准; 能耗监测; 信息模型; 静态数据

中图分类号: TU201

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2019)12-0187-07

Method of extracting static data for building energy consumption monitoring from BIM

MA Zhiliang^{1,2}, TENG Mingkun¹, REN Yuan¹

(1. Department of Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. National Engineering Lab for Green and Safe Construction Technology in Urban Rail Transit (Tsinghua University), Beijing 100084, China)

Abstract: To extract static data from building information models (BIM) for big data applications in building energy consumption monitoring, static data demands are analyzed firstly. On this basis, industry foundation classes (IFC) based static information models for building energy consumption monitoring are established. For the case where the IFC standard does not meet the static data requirements for building energy consumption monitoring, the IFC standard is extended. After the analysis and extension of the IFC standard, a method to extract the required static data from IFC files for big data applications in building energy consumption monitoring are proposed. Finally, based on the analysis of static data requirements for building energy consumption monitoring and the establishment of a static information model for building energy consumption monitoring based on IFC standard, a computer program is developed by C# language on Visual Studio 2017 to test and verify the proposed method. Results show that the proposed method is easier and more efficient than inputting data manually.

Keywords: BIM; IFC standard; energy consumption; information model; static data

为促进建筑节能, 从 2007 年起建设部试点对公共建筑进行能耗监测. 截至 2016 年底, 累计监测建筑数量已达到 1.1 万余栋^[1]. 将累积的海量建筑能耗监测数据用于建筑节能意义重大. 如何利用则是关键技术问题. 近年来兴起的大数据技术^[2]正适合解决这个问题. 然而, 运用大数据技术分析这些海量的监测数据时, 一方面需要获得监测的能耗数据, 例如用电量等; 另一方面需要获得与之对应的建筑能耗监测静态数据(包括其机电系统的静态数据), 例如建筑面积、设备功率等, 以便进行能耗指标的分析 and 比较. 虽然在现存的各建筑能耗监测系统中均可

人工录入部分建筑能耗监测静态数据, 但这一过程费时费力、易出错, 且录入的数据不能完全满足大数据应用的需求.

BIM 技术的发展已使建立 BIM 模型更加容易, 利用 BIM 模型可以高效获取所需的建筑能耗监测静态数据. 建筑及其机电系统的 BIM 模型一般由设计人员应用相应的 BIM 建模软件按专业分别建立. 例如, 建筑专业的人员利用 Revit Architecture 或 ArchiCAD 等软件建立建筑模型, 结构专业的人员利用 Revit Structure 或 Tekla Structures 等软件建立结构模型, 给水排水、供暖通风、电气等专业的情况也类似. 因为对于指定专业, 可能使用来自不同厂商的 BIM 建模软件建立模型, 所以难以保证既有 BIM 模型格式的统一, 这为从 BIM 模型中提取数据带来了障碍. BIM 模型数据标准——IFC 标准的发展为方

收稿日期: 2019-01-03

基金项目: “十三五”国家重点研发计划(2017YFC0704200)

作者简介: 马智亮(1963—), 男, 教授, 博士生导师

通信作者: 马智亮, mazl@mail.tsinghua.edu.cn

便从 BIM 模型中提取数据提供了条件. 目前主流建模软件均已支持 IFC 标准,使得 BIM 模型数据能以 IFC 文件形式导出. 但是,因为 IFC 文件内容覆盖建筑工程全生命周期多阶段、多专业,而且格式复杂,因此其数据提取方法往往需要专门研究.

目前在建筑节能领域已有从 IFC 文件中提取数据的研究. Kim 等^[3]把 IFC 文件中有关建筑能耗模拟的数据映射到建筑能耗分析模型中,避免了建筑节能分析所需的建筑几何、围护结构和暖通空调等相关数据的重复输入,提高了效率和准确率. Andriamamonjy 等^[4]用 Python 语言和开源软件库 IfcOpenShell^[5]等工具,建立从 IFC 文件中提取使用 Modelica 软件进行建筑能耗模拟所需要的建筑静态数据. Pinheiro 等^[6]从 IFC 文件向建筑能耗模拟软件传输数据,解决了模拟过程中手动输入数据低效且易出错的问题. 但是,迄今为止,在建筑能耗监测方面,尚未见从 BIM 模型中提取建筑能耗监测所需静态数据的研究.

本研究的目的是,建立从建筑及其机电系统的 BIM 模型中提取建筑能耗监测静态数据的方法. 本文首先分析建筑能耗监测静态数据的组成;然后分析 IFC 标准的特点,并建立基于 IFC 标准的建筑能耗静态信息模型;最后建立提取建筑能耗监测静态数据的方法,并通过开发程序对该方法进行验证.

1 建筑能耗监测静态数据与 IFC 标准

1.1 建筑能耗监测静态数据分析

2008 年建设部发布了《国家机关办公建筑和大型公共建筑能耗监测系统分项能耗数据采集技术导则》^[7](以下简称“导则”). 2014 年,在导则的基础上,建设部发布了 JGJ/T 285—2014《公共建筑能耗远程监测系统技术规程》^[8](以下简称“规程”). 二者均规定了在能耗监测系统中需要录入的基本数据. 但是,导则、和规程中规定需要录入的建筑基本数据都是关于建筑整体的数据,且缺少机电系统的相关静态数据. 面向大数据应用,为充分利用分别对应于不同楼层、甚至不同房间等各个粒度的数据,本研究在之前的工作中,使用面向对象方法,建立了相应的信息模型. 该模型简化后如图 1 所示,其中包括建筑及其机电系统的实体. 该模型用以反映每一条能耗监测数据记录对应的用能场所、能耗载体、用能主体、能耗计量装置等方面的静态数据. 上述静态数据可划分为不同的粒度. 例如,用能场所分 6 级粒度,从建筑群到房间及走廊粒度递减;能耗载体和用能主体均分为 4 级粒度. 这些不同粒度的实体均具有对应的属性,例如,用能场所的建筑实体有“建筑

面积”、“建筑外墙材料形式”、“建筑外墙厚度”和“建筑外墙窗墙比”等属性,能耗载体的用能设备实体有“设备品牌”、“设备型号”和“额定功率”等属性,用能主体的单位实体有“单位性质”和“工作时间”等属性. 而这些实体及其属性信息即为所需的建筑能耗监测静态数据.

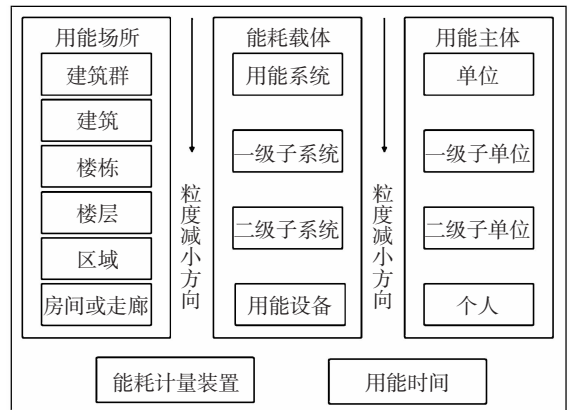


图 1 建筑能耗监测静态数据模型(已简化)

Fig. 1 Building energy monitoring static data model (simplified)

1.2 BIM 的数据交换标准——IFC 标准

IFC 标准是由国际组织 buildingSMART 制定的 BIM 模型数据标准,已被接纳为国际标准化组织(ISO)标准,现已更新到 IFC4x1 版^[9]. 目前主流的 BIM 应用软件均支持 IFC 标准,大多数软件支持的版本是 IFC2x3、IFC4. IFC 标准使用面向对象的方法定义了 6 种类型数据,包括实体、类型、规则、函数、属性集和数量集. IFC 实体通过自身的属性及父类的属性、关联属性集和关联数量集等方式进行信息的描述.

IFC 标准使用了 EXPRESS 语言表示. EXPRESS 语言是关于产品全生命周期的数据表达与交换的国际标准 STEP(standard for the exchange of product model data)使用的一种概念模式语言^[10]. EXPRESS - G 是 EXPRESS 语言对应的一种模型图形表示方法,该方法既可与 EXPRESS 语言对应,也可独立存在,可用于直观地表达实体之间的关系.

2 基于 IFC 标准的建筑能耗监测静态信息模型及其相关模型

2.1 从 IFC 文件提取建筑能耗监测静态数据的方法分析

根据上述分析,可将 BIM 模型以 IFC 文件形式导出,再从 IFC 文件提取所需的数据. 这就需要建立建筑能耗监测静态数据模型中的实体及其属性与 IFC 标准中定义的实体及其属性的对应关系.

逐一分析两者之间的对应关系后得知,存在两种情况,一种是不存在对应的 IFC 实体;一种是存在

对应的 IFC 实体. 对于前者可进行实体扩展或者使用其他实体代替. 对于后者,则可继续查找对应的属性,这里又存在 3 种情形,第一种是 IFC 标准中定义了该属性,对此直接提取即可;第二种是 IFC 标准中未定义该属性,但能根据 IFC 文件中其他相关数据导出;第三种是 IFC 标准既未定义该属性,也不能从模型中导出. 对于后者的前两种情形,都可通过编制程序从 IFC 文件中提取数据,从而节约人工且避免部分数据的录入错误,对于另一种情形,则无法从 BIM 模型中提取.

2.2 根据所需的静态数据扩展 IFC 标准

鉴于 IFC 标准不能完全表达所需的建筑能耗监测静态数据,有必要对 IFC 标准进行扩展,从而可使 BIM 模型中的相关数据可导入到 IFC 文件中. 主要

的扩展方法有 3 种:其一,增加 IFC 实体类型,该方法是对 IFC 标准模型的扩充,该方法涉及标准制定的复杂流程,一般在 IFC 版本更新时使用;其二,使用 IfcProxy 或 IfcBuildingElementProxy 扩展,通过实例化该实体并结合属性集等对未定义的实体进行表达,该方法容易实现;其三,增加属性集,通过用户自定义属性集,该方法相对容易实现. 在本研究中,对 IFC 标准中不能直接表达的实体将采取第二种方法进行扩展;对 IFC 标准不能表达的属性采取第三种方法扩展. 例如,本研究针对办公建筑扩展了的属性集,该属性集名称为办公建筑扩展信息,适用于实体 IfcBuilding,应用值类型为实体属性 PredefinedType 的任意值,表 1 是该属性集包含的 5 个属性的定义. 本研究根据需求共扩展了 22 个属性集,详见表 2.

表 1 办公建筑特有扩展属性集中的属性定义

Tab. 1 Properties definition of extended property sets for office building

属性名称	属性类型	属性值类型	说明
办公形式	IfcPropertyEnumeratedValue	PEnum_WorkType:集中办公、独立办公	无
建筑性质	IfcPropertyEnumeratedValue	PEnum_BuildingUseFor:出租、自用、出售	无
用能单位家数	IfcPropertySingleValue	IfcInteger	无
主要办公类型	IfcPropertyEnumeratedValue	PEnum_WorkBusiness:金融、IT、媒体、一般、混合	无
正常使用时段	IfcPropertySingleValue	IfcLabel	无

表 2 扩展属性集汇总

Tab. 2 Summary of extended property sets

序号	属性集名称	包含属性数量	适用 IFC 实体	序号	属性集名称	包含属性数量	适用 IFC 实体
1	建筑形体扩展信息	13	IfcBuilding	12	热水锅炉扩展信息	4	IfcBoiler
2	监测区域扩展信息	6		13	蒸汽锅炉扩展信息	3	
3	围护结构扩展信息	8		14	输配冷却扩展信息	5	IfcPump
4	办公建筑扩展信息	5		15	风机扩展信息	3	IfcFan
5	饭店建筑扩展信息	5		16	冷水机组扩展信息	5	IfcChiller
6	医院建筑扩展信息	3		17	板式换热器扩展信息	10	IfcHeatExchanger
7	商场建筑扩展信息	4		18	空调末端扩展信息	6	IfcAirTerminal
8	运行策略扩展信息	4	IfcSystem	19	空调箱扩展信息	6	IfcAirTerminalBox
9	设定温度扩展信息	2		20	风机盘管扩展信息	5	IfcCoil
10	系统类型扩展信息	3		21	灯具扩展信息	2	IfcLamp
11	技术使用扩展信息	7		22	照明系统扩展信息	8	IfcDistributionSystem

2.3 基于 IFC 标准的建筑能耗监测静态信息模型

根据已经建立的建筑能耗监测静态数据模型并结合 IFC 标准,针对用能场所、能耗载体、用能主体以及它们涉及的属性信息,分别建立了基于 IFC 标准的信息模型. 在此基础上建立了基于 IFC 标准的建筑能耗静态信息模型. 建立该模型的目的是,在 IFC 标准包含的大量实体中筛选出相关实体,并梳理其相互关联,为编写提取所需数据的程序打下基

础. 对这些模型均使用 EXPRESS – G 表示,以便于程序开发人员从中提取数据.

为了便于理解,下文首先介绍如图 2 所示的总模型,再分别介绍图 3 ~ 6 的分模型. 图 2 反映各分模型之间的关联关系,虚线框内为各分模型的主要实体,虚线框外的实体为较高层级的实体,灰色矩形中的实体为关系实体.

图 3 表示基于 IFC 标准的用能场所信息模型.

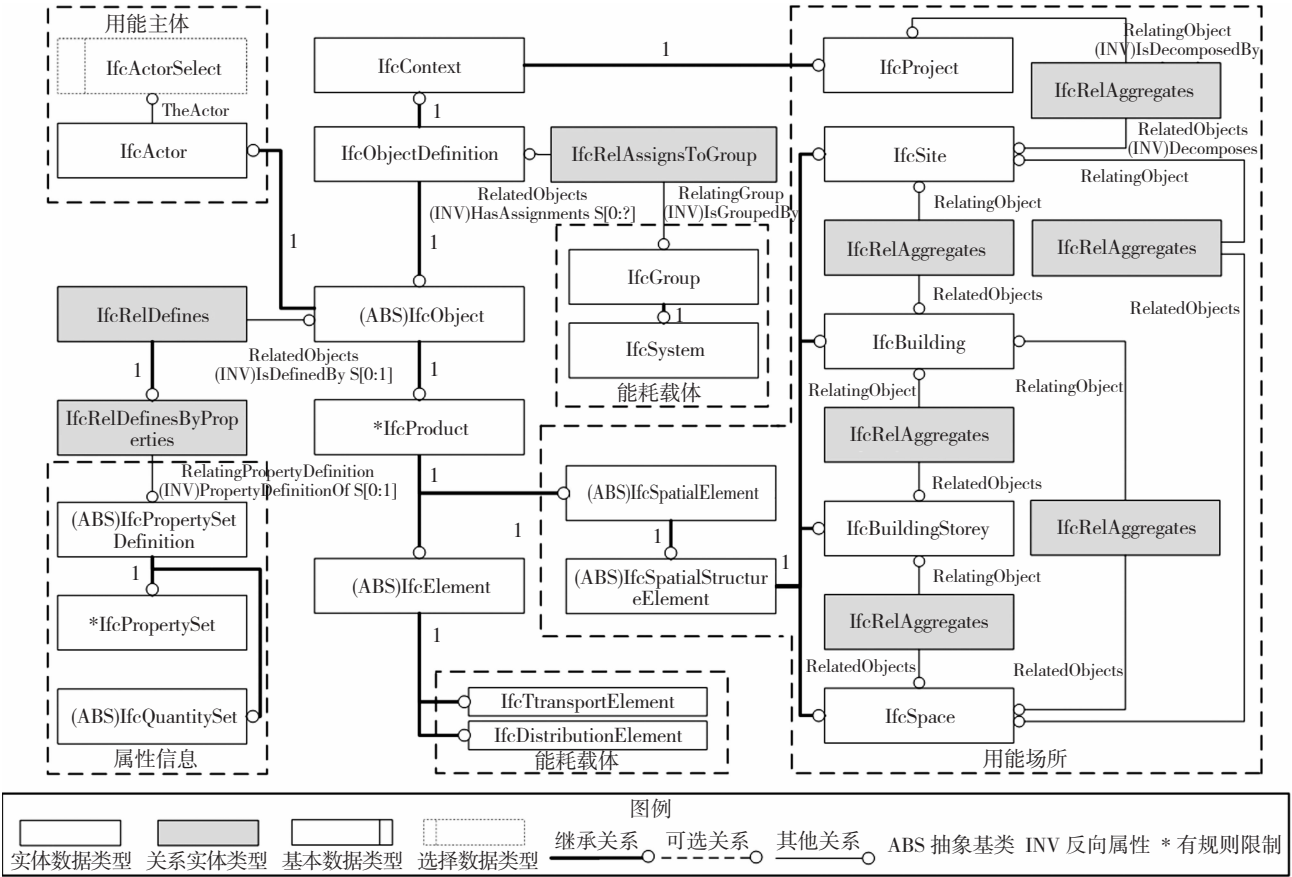


图 2 基于 IFC 标准的建筑能耗监测静态信息模型

Fig. 2 Static information model for building energy consumption monitoring of buildings based on IFC standard

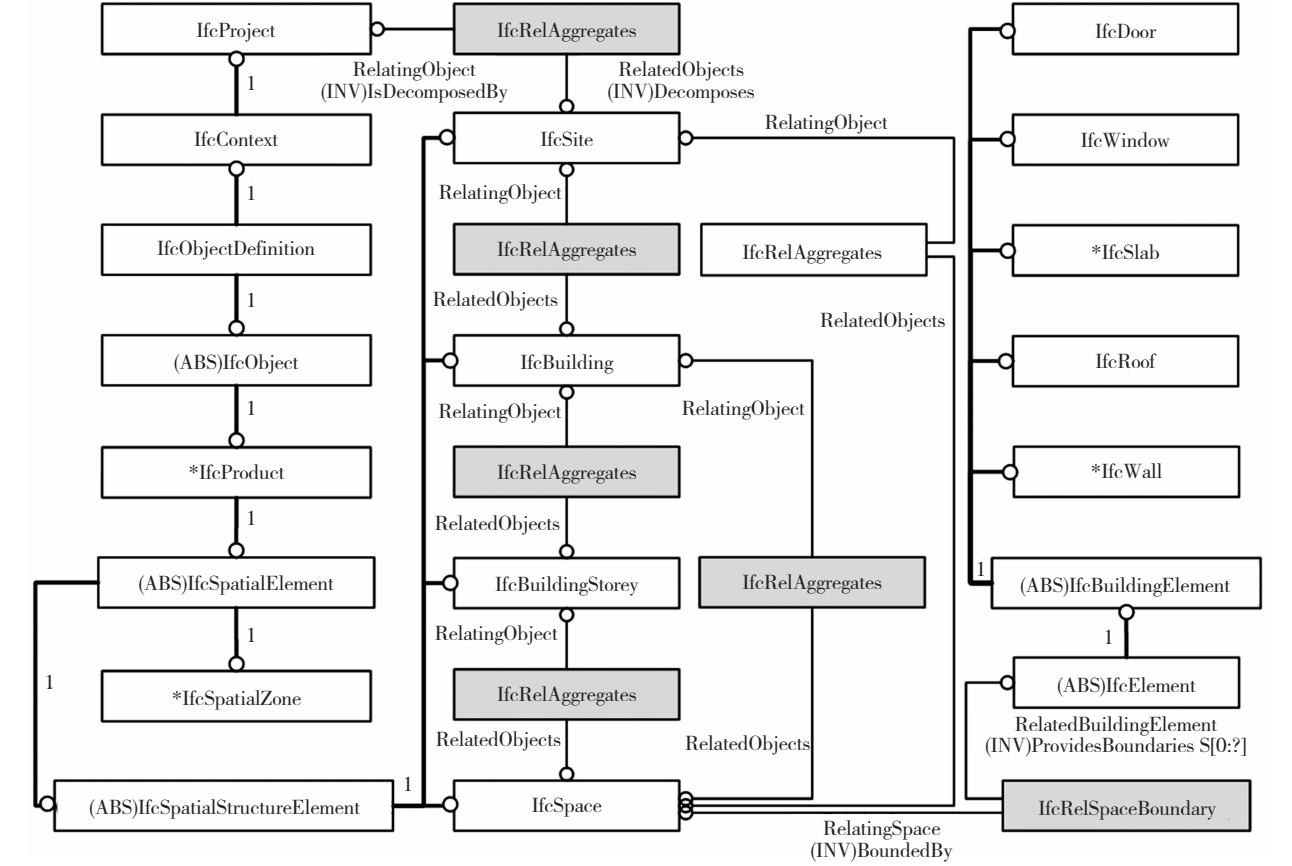


图 3 基于 IFC 标准的用能场所信息模型

Fig. 3 Energy-consuming venue information model based on IFC standard

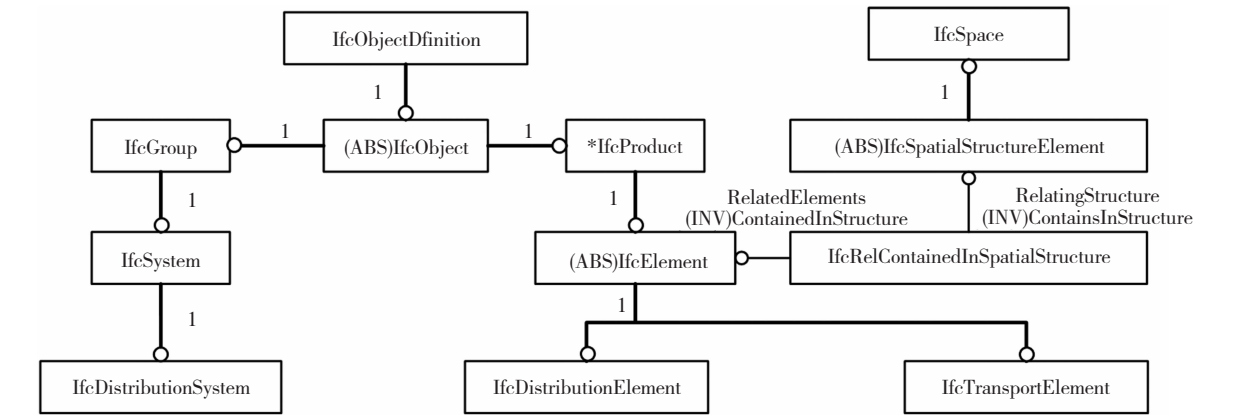


图 4 基于 IFC 标准的能耗载体信息模型

Fig.4 Energy carrier information model based on IFC standard

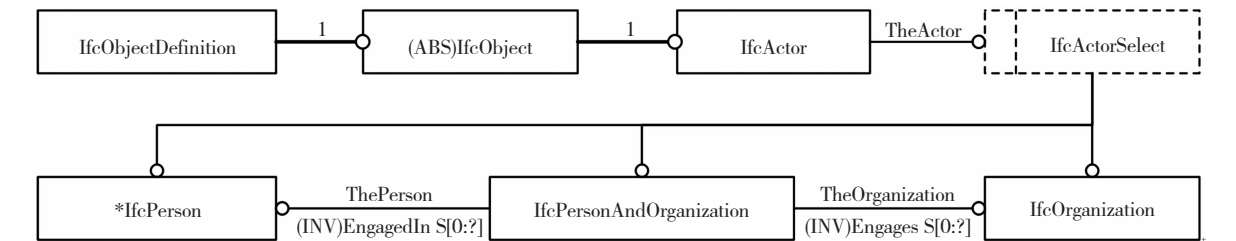


图 5 基于 IFC 标准的用能主体信息模型

Fig.5 Energy-consumer information model based on IFC standard

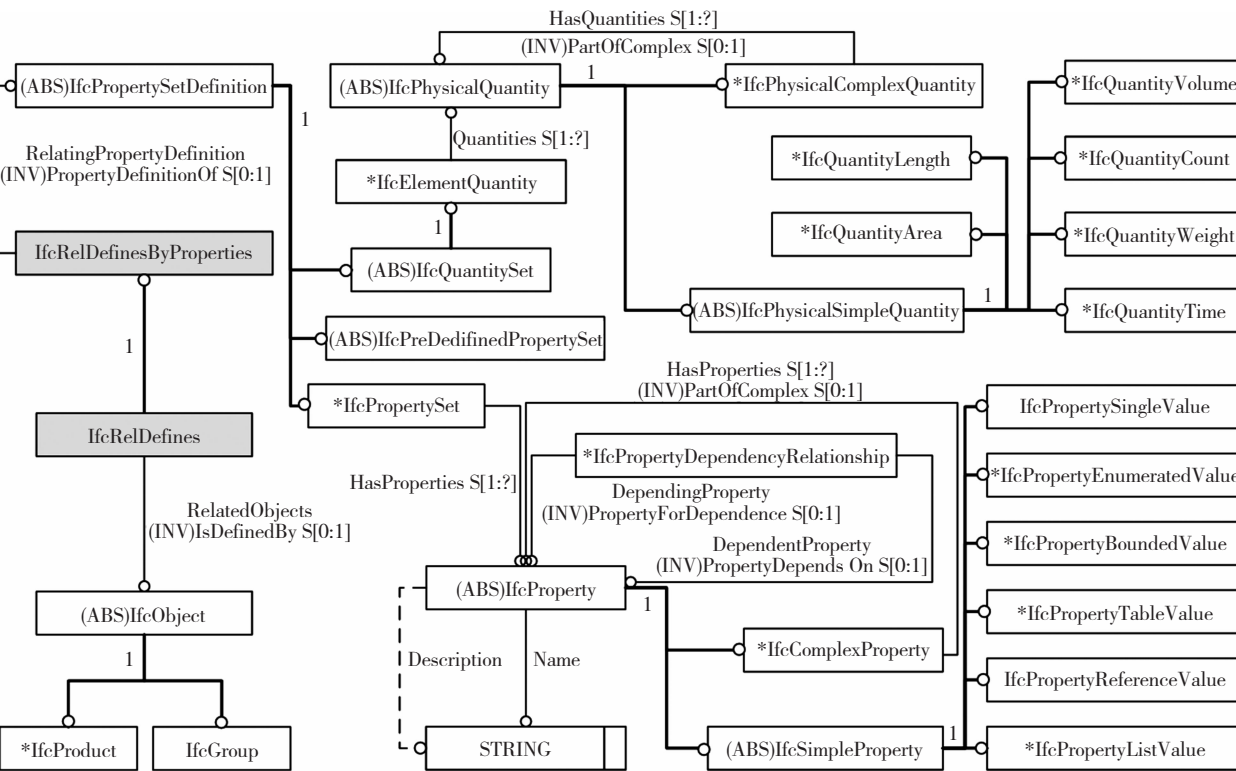


图 6 基于 IFC 标准的建筑及其机电系统属性信息模型

Fig.6 Building and related electromechanical systems information model based on IFC standard

该模型中 IfcProject、IfcBuilding、IfcBuildingStorey、IfcSpace 分别表示建筑群或建筑、楼栋、楼层、房间,它们通过关系实体相关联.关系实体有多种,均为 IfcRelationship 的子类,例如 IfcRelAggregates 是属于表示组合-分解(整体-部分)关系的实体.如图 4 示,在 IFC 标准中,用能系统、用能设备可用 IfcDistributionSystem、IfcDistributionElement 表示.IfcdistributionSystem 的 PredefinedType 属性包含了部分本研究定义的系统类型,对于不能直接表达的系统类型可以取 Userdefined 进行自定义.具体的用能设备是 IfcDistributionElement 的子类.例如,锅炉用 IfcBoiler 表示.需要特别说明的是,在 IFC 标准中,电梯用 IfcTransportElement 表示,它和 IfcDistributionElement 均为 IfcElement 的子类.限于篇幅,各设备与其对应的 IFC 实体不再具体说明.图 5 为基于 IFC 标准的用能主体信息模型,IfcPerson 可表示用能个人,IfcOrganization 可表示各级用能单位.

另外,可通过关联属性集和数量集等方式描述 IFC 实体未包含的属性.图 6 为基于 IFC 标准的建筑及其机电系统属性信息模型,它是 IFC 标准对各用能场所、能耗载体、用能主体等实体的相关属性的表达,属性信息主要涉及实体自身的和父类的属性,以及适用于该实体的属性集 IfcPropertySet 和数量集 IfcQuantitySet,后者均相当于一个容器,可装载属性信息和数量信息.数量集表达的信息是物体固有的数量信息,例如梁的长度、体积等,而属性集则多是为人为定义的信息,例如梁的型号、名称等.属性集里的属性用 IfcProperty 表达,数量集里的数量信息用 IfcPhysicQuantity 表达.

3 建筑能耗监测静态数据提取方法及其验证

3.1 建筑能耗监测静态数据提取方法

根据建立的基于 IFC 标准的建筑能耗监测静态信息模型,本研究明确所需的建筑能耗监测静态数据在 IFC 标准中的表达和各相关实体及实体与属性间的关系,进而编写了从 IFC 文件提取建筑能耗监测静态数据的程序.假定尚未建立 BIM 模型,提取流程如图 7 所示.首先获得由不同专业人员在各自的 BIM 软件中建立的 BIM 模型,并把模型从相应的软件导出为 IFC 格式文件.应用本研究开发的建筑能耗监测静态数据提取程序,对导出的 IFC 文件进行静态数据的提取.

图 8 为该程序的界面.在本研究中,程序在 Visual Studio 2017 开发平台上,基于 .NET Framework 4.6.1 框架用 C#语言进行开发.本研究在编写程序

的过程中,使用了 xBIM^[11] 中的 xBIM Essentials. xBIM 是一个基于 .NET 的开源的软件开发工具包,支持对 IFC 格式文件的解析.目前,xBIM 支持 IFC2x3、IFC4. xBIM Essentials 是 xBIM 的一个核心库,提供了 BIM 的数据提取、数据转换和数据验证等基础功能,可用于高效地处理千兆字节范围的 IFC 文件^[12].

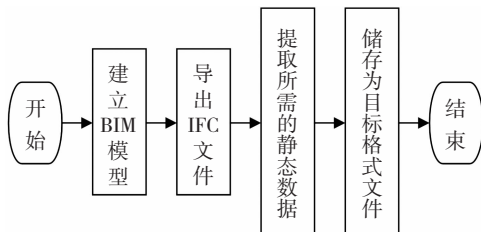


图 7 建筑能耗监测静态数据提取流程

Fig. 7 Process of static data extraction for building energy consumption monitoring

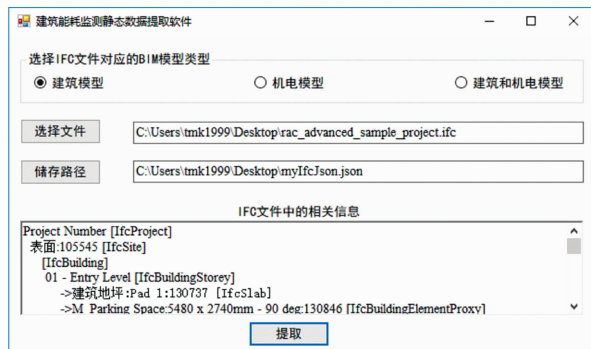


图 8 静态数据提取程序界面

Fig. 8 UI of the static data extraction application

3.2 建筑能耗监测静态数据提取方法验证

本研究以 Revit 2017 下载包中自带的建筑模型 (rac_advanced_sample_project) 为例,验证提取方法的可行性.该模型是一栋三层的办公用途的建筑模型,建筑面积为 5 011 m²,对模型进行了一定加工,包括属性集的扩展等,例如扩展了常在人数属性,其值为 365.从该模型导出 IFC 文件,大小为 59 MB,接着对程序进行数据提取测试.从该 IFC 文件提取出了所需的建筑能耗监测静态数据.本程序把提取的数据储存为 JSON 格式文件.所需的属性在 IFC 文件中若有值,则 JSON 文件中该属性有对应的属性值,否则值属性为“null”,故可直接在 JSON 文件中查看提取的数据的完整性.

对提取出的数据与原模型进行对比,从而进行准确性验证.由于提取数据较多,故按 2.1 节划分的 3 种情形分别举一个典型例子说明.图 9 为提取的数据文件的局部,建筑面积属于情形一的数据,提取出的建筑面积的值是 5 011 m²,与原模型一致;公区面积属于情形二的数据,提取出的公区面积值为 1 828 m²,与原模型一致;常在人数属于情形三的数据

据,提取出的常在人数为 365,与本研究对该模型特别录入的数据一致.情形一和情形二的数据提取实现了节约人工的目的.综上,本研究建立的建筑能耗监测静态数据提取方法可行.

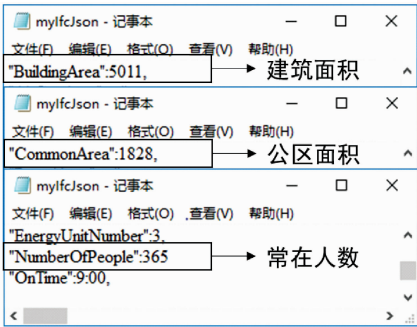


图 9 提取的部分静态数据

Fig.9 Part of the extracted static data

4 结 论

- 1)本研究分析了建筑能耗监测静态数据和 IFC 标准,建立了基于 IFC 标准的建筑能耗静态信息模型,针对 IFC 标准未定义的建筑能耗监测数据对 IFC 标准进行了扩展.
- 2)依据建立的信息模型研制了建筑能耗监测静态数据提取程序,应用该程序从案例 IFC 文件中提取出了建筑能耗监测静态数据,验证了从 BIM 模型提取建筑能耗监测静态数据方法的可行性.
- 3)该方法解决了数据人工录入费时费力、易出错和数据不能满足大数据应用需求的问题,使得建筑能耗监测静态数据的利用更为高效便捷.

参考文献

[1] 丁洪涛,刘海柱,殷帅.我国公共建筑节能监管平台建设现状及趋势研究[J].建设科技,2017,23:10
DING Hongtao, LIU Haizhu, YIN Shuai. Research on the status quo and trend of energy conservation supervision platform for public buildings in China [J]. Construction Science and Technology, 2017, 23:10. DOI: 10.16116/j.cnki.jskj.2017.23.001

[2] 马智亮,刘世龙,刘喆.大数据技术及其在土木工程中的应用[J].土木建筑工程信息技术,2015,7(5):45
MA Zhiliang, LIU Shilong, LIU Zhe. Big data techniques and its applications in civil engineering [J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2015, 7(5): 45. DOI: 10.16670/j.cnki.cn11-5823

[3] KIM H, SHEN Z H, KIM I, et al. BIM IFC information mapping to building energy analysis (BEA) model with manually extended material information[J]. Automation in Construction, 2016, 68: 183. DOI: 10.1016/j.autcon.2016.04.002

[4] ANDRIAMAMONJY A, SAELENSA D, KLEINB R, et al. An automated IFC-based workflow for building energy performance simulation with Modelica[J]. Automation in Construction, 2018, 91:166. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.03.019

[5] IfcOpenShell Academy. About IfcOpenShell[EB/OL]. (2018-05-21)[2018-08-21]. <http://academy.ifcopenshell.org/about-ifcopenshell/>

[6] PINHEIRO S, WIMMER R, O'DONNELL J, et al. MVD based information exchange between BIM and building energy performance simulation[J]. Automation in Construction, 2018, 90:91. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.02.009

[7] 国家机关办公建筑和大型公共建筑能耗监测系统分项能耗数据采集技术导则[Z].北京:中华人民共和国住房和城乡建设部,2008
Technical guidelines for data collection of energy consumption of state organs office buildings and large public buildings energy consumption monitoring system [Z]. Beijing: Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, 2008

[8] 公共建筑能耗远程监测系统技术规程: JGJ/T 285—2014 [S].北京:中国建筑工业出版社,2014
Technical specification for remote monitoring system of public building energy consumption: JGJ/T 285—2014 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014

[9] Building SMART International Ltd. IFC overview summary[EB/OL]. (2010-03-03)[2018-09-01]. <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-overview/ifc-overview-summary>

[10] 工业自动化系统与集成产品数据表达与交换 第 11 部分:描述方法:EXPRESS 语言参考手册: GB/T 16656.11—2010 [S].北京:中国标准出版社,2010
Industrial automation systems and integration-Product data representation and exchange-part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual: GB/T 16656.11—2010 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2010

[11] xBIM Team. xBIM Toolkit-eXtensible building information modelling [EB/OL]. (2016-04-10)[2018-09-09]. <http://docs.xbim.net/in.dex.html>

[12] LOCKLEY S, BENGHI C, ČERNÝ M. Xbim. Essentials: A library for interoperable building information applications [J]. Journal of Open Source Software, 2017, 2(20):1. DOI: 10.21105/joss.00473

(编辑 赵丽莹)