HZ BOOKS
华章科技

C++标准委员会成员和IBM XL编译器中国开发团队共同撰写，权威性毋庸置疑

系统、深入、详尽地讲解了C++11新标准中的新语言特性、新标准库特性、对原有特性的改进，以及所有这些新特性的应用

华章原创精品

深入理解C++11

C++11新特性解析与应用

Understanding C++11

Analysis and Application of New Features

（加）Michael Wong
IBM XL编译器中国开发团队 著

机械工业出版社
China Machine Press

Understanding C++11

Analysis and Application of New Features

从C++98到C++11，C++标准10年磨一剑，相比C++98/03，C++11则带来了数量可观的变化，这包括了约140个新特性，以及对C++03标准中约600个缺陷的修正，这使得C++11更像是从C++98/03中孕育出的一种新语言。相比较而言，C++11能更好地用于系统开发和库开发、更易于教学（语法更加泛化和简单化）、更加稳定和安全，不仅功能变得更强大，而且能提升程序员的开发效率。随着各种编译器对C++11标准的支持更加完善，C++11标准势必会逐渐成为主流，作为一个有经验的C++程序员，如果你想比别人先行一步，抢占先机，那么本书为你提供了绝好的机会，它系统、深入、详尽地讲解了C++11新标准中的新语言特性、新标准库特性、对原有特性的改进，以及所有这些新特性的应用。

本书主要内容：

- C++11标准的设计目标和设计原则，以及C++11新特性预览和分类；
- 出于保证稳定性和兼容性而增加的新特性，如long long整数类型、静态断言、外部模板，等等；
- 具有广泛可用性、能与其他已有的或者新增的特性结合起来使用的、具有普适性的一些新特性，如继承构造函数、委派构造函数、列表初始化，等等；
- 对原有一些语言特性的改进，如auto类型推导、追踪返回类型、基于范围的for循环，等等；
- 在安全方面所做的改进，如枚举类型安全和指针安全等方面的内容；
- 为了进一步提升和挖掘C++程序性能和让C++能更好地适应各种新硬件的发展而设计的新特性，如多核、多线程、并行编程，等等；
- 颠覆C++一贯设计思想的新特性，如lambda表达式等；
- C++11为了解决C++编程中各种典型实际问题而做出的有效改进，如对Unicode的深入支持等；
- C++11标准与其他相关标准的兼容性和区别、C++11中弃用的特性、编译器对C++11的支持情况，以及学习C++11的相关资源。

11

上架指导：计算机/程序设计/C++

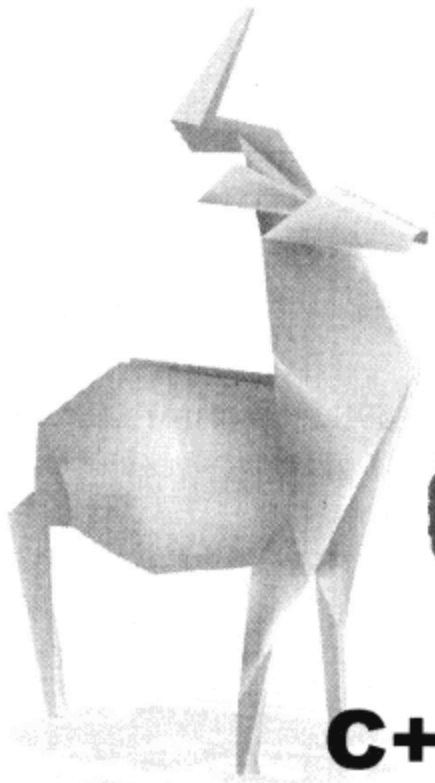
ISBN 978-7-111-42660-8

9 787111 426608 >

定价：69.00元

客服热线：(010) 88378991 88361066
购书热线：(010) 68326294 88379649 68995259
投稿热线：(010) 88379604

数字阅读：www.hzmedia.com.cn
华章网站：www.hzbook.com
网上购书：www.china-pub.com



深入理解C++11

C++11新特性解析与应用

Understanding C++11

Analysis and Application of New Features

（加）Michael Wong
IBM XL编译器中国开发团队 著

机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目（CIP）数据

深入理解 C++11 ：C++11 新特性解析与应用 / Michael Wong, IBM XL 编译器中国开发团队著 . —北京 ：机械工业出版社，2013.6
（原创精品系列）

ISBN 978-7-111-42660-8

Ⅰ. 深… Ⅱ. ① M… ② I… Ⅲ. C 语言 – 程序设计 Ⅳ. TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 110482 号

本书法律顾问　北京市展达律师事务所

国内首本全面深入解读 C++11 新标准的专著，由 C++ 标准委员会代表和 IBM XL 编译器中国开发团队共同撰写。不仅详细阐述了 C++11 标准的设计原则，而且系统地讲解了 C++11 新标准中的所有新语言特性、新标准库特性、对原有特性的改进，以及如何应用所有这些新特性。

全书一共 8 章 ：第 1 章从设计思维和应用范畴两个维度对 C++11 新标准中的所有特性进行了分类，呈现了 C++11 新特性的原貌 ；第 2 章讲解了在保证与 C 语言和旧版 C++ 标准充分兼容的原则下增加的一些新特性 ；第 3 章讲解了具有广泛可用性、能与其他已有的或者新增的特性结合起来使用的、具有普适性的一些新特性；第 4 章讲解了 C++11 新标准对原有一些语言特性的改进，这些特性不仅能让 C++ 变得更强大，还能提升程序员编写代码的效率 ；第 5 章讲解了 C++11 在安全方面所做的改进，主要涵盖枚举类型安全和指针安全两个方面的内容；第 6 章讲解了为了进一步提升和挖掘 C++ 程序性能和让 C++ 能更好地适应各种新硬件的发展而设计的新特性，如多核、多线程、并行编程方面的新特性 ；第 7 章讲解了一些颠覆 C++ 一贯设计思想的新特性，如 lambda 表达式等 ；第 8 章讲解了 C++11 为了解决 C++ 编程中各种典型实际问题而做出的有效改进，如对 Unicode 的深入支持等。附录中则介绍了 C++11 标准与其他相关标准的兼容性和区别、C++11 中弃用的特性、编译器对 C++11 的支持情况，以及学习 C++11 的相关资源。

机械工业出版社（北京市西城区百万庄大街 22 号　　邮政编码　100037）
责任编辑：孙海亮
三河市杨庄长鸣印刷装订厂印刷
2013 年 6 月第 1 版第 1 次印刷
186mm × 240 mm • 20.5 印张
标准书号：ISBN 978-7-111-42660-8
定　　价：69.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
客服热线：（010）88378991　88361066　　投稿热线：（010）88379604
购书热线：（010）68326294　88379649　68995259　　读者信箱：hzjsj@hzbook.com

免责声明

本书言论仅为作者根据自身实践经验所得，仅代表个人观点，不代表 IBM 公司的官方立场和看法，特此声明。

IBM XL 编译器中国开发团队简介

IBM 拥有悠久的编译器开发历史（始于 20 世纪 80 年代），在全球拥有将近 400 名高素质工程师组成的研发团队，其中包括许多世界知名的研究学者和技术专家。IBM 一直以来都是编程语言的制定者和倡导者之一，并将长期在编译领域进行研发和投资。IBM XL 编译器中国开发团队于 2010 年在上海成立，现拥有编译器前端开发人员（C/C++）、后端开发人员，测试人员，以及性能分析人员等。团队与 IBM 北美编译器团队紧密合作，共同开发、测试和发布基于 POWER 系统的 AIX 及 Linux 平台下的 XL C/C++ 和 XL Fortran 系列产品，并对其提供技术支持。虽然团队成立时间不长，但已于 2012 年成功发布最新版本的 XL C/C++ for Linux V12.1 & XL Fortran for Linux V14.1，并获得 7 项发明专利。团队成员拥有丰富的编译器开发经验，对编译技术、编程语言、性能优化和并行计算等都有一定的研究，也对 C++11 标准的各种新特性有较早的研究和理解，并正在实际参与 C++11 新特性的开发工作。

欢迎广大读者关注 IBM XL 编译器中国开发团队博客：http://ibm.co/HK0GCx，及新浪微博：www.weibo.com/ibmcompiler，并与我们一起学习、探讨 C++11 和编译技术。

作者个人简介

官孝峰　毕业于上海交通大学软件学院。多年致力于底层软件开发，先后供职于 AMD 上海研发中心，IBM 上海研发中心。在嵌入式系统及应用、二进制翻译、图形驱动等领域有丰富的实践经验。2010 年加入 IBM XL 中国编译器中国开发团队，负责 XL C/C++/Fortran 编译器后端开发工作，专注于编译器后端优化、代码生成，以及语言标准等领域。在 C++11 标准制定后，率先对标准进行了全面深入的研究，并组织团队成员对新语言标准进行学习探讨。是数项国内外专利的发明人，并曾于 DeveloperWorks 社区发表英文论文一篇。

陈晶　毕业于西安交通大学通信与信息工程专业，有多年的编译器文档开发写作经验。2008 年起供职于 IBM 上海研发中心，一直致力于研究 C++11 标准的各项新特性，并负责该部分的技术文档撰写。精通 C/C++ 语言，对编译器领域有浓厚的兴趣。负责工作部门内部的编译器产品技术培训。在 DeveloperWorks 社区发表过多篇论文。拥有一项国内专利。

任剑钢　毕业于复旦大学计算机专业。2010 年加入 IBM XL 中国编译器中国开发团队，先后从事 XL Fortran 编译器前端、XL C/C++/Fortran 编译器后端等各种开发工作。对于技术敏感而热衷，擅长 C/C++/Java 等多种编程语言，现专注于编译器代码优化技术。拥有一项专利，并带领团队在 IBM Connections 平台的技术拓展大赛中赢得大奖。

朱鸿伟　毕业于浙江大学计算机科学与技术专业。资深软件开发工程师，有多年系统底层软件开发和 Linux 环境开发经验。一直致力于 C/C++ 语言、编译器、Linux 内核等相关技术的研究与实践，关注新技术和开源社区，对于 Linux 内核以及 Linux 平台软件的开发有着浓厚的兴趣，曾参与 Linux 开源软件的开发与设计。2010 年加入 IBM XL 中国编译器中国开发团队，现专注于编译器前端技术研究与开发工作。

张青山　毕业于福州大学计算机系。从事嵌入式开发多年，曾致力于 Linux 内核和芯片驱动程序的开发、及上层应用程序的编写。2010 年加入 IBM XL 编译器中国开发团队，负责 XL C++ 编译器前端的研发工作。对 C99、C++98、C++11 等语言标准及编译理论有深入理解，

并实际参与 C++11 前端各种特性的实现。此外还致力于编译器兼容性的研究和开发。

纪金松 中国科学技术大学计算机体系结构专业博士，有多年编译器开发经验。2008 年起先后就职于 Marvell（上海）、腾讯上海研究院、IBM 上海研发中心。一直致力于系统底层软件的研究与实践，在编译器后端优化、二进制工具链、指令集优化、可重构计算等相关领域有丰富的实战经验。在国内外杂志和会议中发表过 10 多篇论文，并拥有多项国内外专利。

郭久福 毕业于华东理工大学控制理论与控制工程专业。拥有近 10 年的系统软件开发经验，曾就职于柯达开发中心、HP 中国以及 IBM 中国软件实验室。对 C 语言标准以及 C++ 语言标准有深入研究，近年来致力于编译器前端的开发和研究。

林科文 毕业于复旦大学计算机软件与理论专业，有多年底层系统开发经验。2010 年起供职于 IBM 上海研发中心，现从事编译器后端开发工作。一直致力于系统软件的研究和实践，以及编译器代码优化等领域。活跃于 DeveloperWorks 社区，是三项国内专利的发明人。

班怀芸 毕业于南京理工大学计算机应用技术专业。资深测试工程师，在测试领域耕耘多年，曾任职于 Alcatel-Lucent 公司，有丰富的项目经验。2011 年加入 IBM XL 编译器中国开发团队，现从事和 C/C++ 语言相关的测试领域研究，负责用编译器实现相关需求分析、自动化测试方案制定及实现等工作。持续关注语言和测试技术的发展，对 C/C++ 新特性和语言标准有较深的理解。

蒋健 毕业于复旦大学计算机科学系，资深编译器技术专家。先后供职于 Intel、Marvell、Microsoft 及 IBM 等各公司编译器开发部门，参与并领导业界知名的编译器后端多种相关研发工作，并且拥有近十项编译器方面的专利。现负责 XL C/C++/Fortran 编译器后端开发，并领导 IBM XL 中国编译器中国开发团队各种技术工作。

宋瑞 毕业于北京大学微电子学院，在软件测试领域工作多年，对于测试架构以及软件的发布流程具有丰富的经验，曾就职于 Synopsys 和 Apache design solution。2011 年加入 IBM XL 编译器中国开发团队，从事和编译器、C/C++ 语言相关的研究与测试，对 C/C++ 新语言特性和标准有较深的理解和研究。

刘志鹏 毕业于南京理工大学计算机应用专业，2010 年加入 IBM XL 中国编译器中国开发团队。先后从事 Fortran、C++ 前端的开发工作。现致力于 C++ 语言新标准、语言兼容性等研究与开发。对编译器优化技术、Linux 内核开发有浓厚兴趣，擅长 C/C++/Java 等多种语言。

毛一赠 毕业于上海交通大学，现任职于 IBM 编译器中国开发团队，从事 XL C/C++ 编译器前端的开发工作，在此领域有多年研究经验。具有丰富的实际项目经验并持续关注语言发展。擅长 C++、C、Java 等语言，对 C++ 模板有深入研究。此外对 C#/VB/perl/Jif/Fabric 等语言也均有所涉猎。热爱编程与新技术，活跃于 DeveloperWorks 等社区，发表过技术博客数篇。

张寅林 毕业于上海交通大学信息安全工程专业。2010 年起加入 IBM XL 编译器中国开发团队，专注于编译器后端性能优化开发工作。对于编译器优化算法，Linux 操作系统体系结构与实现有浓厚的兴趣，擅长 C/C++/Python 编程语言。目前从事 IBM 企业级存储服务器的开发工作。

刘林 东南大学计算机科学与工程学院硕士，有多年底层系统开发经验。2010—2012 年间就职于 IBM XL 编译器中国开发团队，先后从事编译器测试及后端开发工作。对嵌入式、Linux 操作系统体系结构与实现有浓厚的兴趣。

Preface

If you are holding this book in the store, you might be wondering why you should read this book among many C++ books. First, you should know this book is about the latest new C++11 (codenamed C++0x) Standard ratified at the end of 2011. This new Standard is almost like a new language, with many new language and library features but there is a strong emphasis for compatibility with the last C++98/03 Standard during design. At the time of printing of this book in 2013, this is one of the first few C++11 books published. All books that do not mention C++11 will invariably be talking about C++98/03.

What makes this book different is that it is written by Chinese writers, in its original Chinese language. In fact, all of us are on the C++ compiler team for the IBM xlC++ compiler, which has been adding C++11 features since 2008.

For my part, I am the C++ Standard representative for IBM and Canada and have been working in compilers for 20 years, and is the author of several C++11 features while leading the IBM C++ Compiler team.

For C++ users who read Chinese, many prefer to read an original Chinese language book, rather than a translated book, even if they can read other languages. While very well written also by experts from the C++ Standard Committee, these non-Chinese books' translation can take time, or result in words or meanings that are loss in translation. The translator has a tough job as technical books contain many jargon and new words that may not have an exact meaning in Chinese. Different translators may not use the same word, even within the same book. These are reasons that lead to a slow dissemination of C++ knowledge and slows the adoption of C++11 in Chinese.

These are all reasons that lead to weak competitiveness. We aim to improve that competiveness with a book written by Chinese-speaking writers, with a uniform language for jargons, who understand the technology gap as many of the writers work in the IBM Lab in Shanghai. We know there are many Chinese-speaking C++ enthusiasts who are eager to learn and use the updates to their favorite language. The newness of C++11 also demands a strong candidate in the beginner to intermediate level of C++11, which is the level of this book.

You should do well reading this book, if you are:

- an experienced C programmer who wants to see what C++11 can do for you.
- already a C++98/03 programmer who wants to learn the new C++11 language.
- anyone interested in learning the new C++11 language.

We structure this book using the design principles that Professor Bjarne Stroustrup, the father of C++ followed in designing C++11 through the Standard Committee. In fact, we separated this book into chapters based on those design principles. These design principles are outlined in the first chapter. The remaining chapters separate every C++11 language features under those design classifications. For each feature, it will explain the motivation for the feature, the rules, and how it is used, taking from the approved C++11 papers that proposed these features. A further set of appendices will outline the current state of the art of compiler support for C++11, incompatibilities, deprecated features, and links to the approved papers.

After reading this book, you should be able to answer questions such as:

- ❑What is a lambda and the best way to use it?
- ❑How is decltype and auto type inference related?
- ❑What is move semantics and how does it solve the forwarding problem?
- ❑I want to understand default and deleted as well as explicit overrides.
- ❑What did they replace exception specifications with and how does noexcept work?
- ❑What are atomics and the new memory model?
- ❑How do you do parallel programming in C++11?

What we do not cover are the C++11 changes to the Standard library. This part could be a book itself and we may continue with this as Book II. This means we will not talk about the new algorithms, or new class libraries, but we will talk about atomics since most compilers implement atomics as a language feature rather than a library feature for efficiency reason. However, in the C++11 Standard, atomics is listed as a library feature simply because it could be implemented at worst as a library, but very few compilers would do that. This book is also not trying to teach you C++. For that, we particularly recommend Professor Stroustrup's book Programming principles & Practice Using C++ which is based on an excellent course he taught at Texas A&M University on programming.

This book could be read chapter by chapter if you are interested in every feature of C++11. More likely, you would want to learn about certain C++11 feature and want to target that feature. But while reading about that feature, you might explore other features that fall under the same design guideline.

We hope you find this book useful in your professional or personal learning. We learnt too during our journey of collaborating in writing this book, as we wrote while building the IBM C++ compiler and making it C++11 compliant.

The work of writing a book is long but it is well worth it. While I have been thinking about writing this book while working on the C++ Standard, it was really Xiao Feng Guan who motivated me to start really stop thinking and start doing it for real. He continued to motivate and lead others through their writing assignment process and completed the majority of the work of organizing

this book. I also wish to thank many who have been my mentors officially and unofficially. There are too many to mention but people such as Bjarne Stroustrup, Herb Sutter, Hans Boehm, Anthony Williams, Scott Meyers and many others have been my teachers and great examples of leaders since I started reading their books and watching how they work within large groups. IBM has generously provided the platform, the time, and the facility to allow all of us to exceed ourselves, if only just a little to help the next generation of programmers. Thank you above all to my family Sophie, Cameron, Spot the Cat, and Susan for lending my off-time to work on this book.

Michael

序

当你在书店里拿起这本书的时候，可能最想问的就是：这么多 C++ 的书籍，为什么需要选择这一本？回答这个问题首先需要知道的是，这是一本关于在 2011 年年底才制定通过的 C++11（代码 C++0x）的新标准的书籍。这个新标准看起来就像是一门新的语言，不仅有很多的新语言特性、标准库特性，而且在设计时就考虑了高度兼容于旧有的 C++98/03 标准。在 2013 年出版的 C++ 的书籍中，本书是少数几部关于 C++11 的书籍之一，而其他的，则会是仅讲解 C++98/03 而未提及 C++11 的书籍。

相比于其他书籍，本书还有个显著特点——绝大多数章节都是由中国作者编写。事实上，本书所有作者均来自 IBM XL C++ 编译器开发团队。而团队对于 C++11 新特性的开发，早在 2008 年就开始了。

而我则是一位 IBM 和加拿大的 C++ 标准委员会的代表。我在编译器领域已工作了 20 多年。除了是 IBM C++ 编译器开发团队的领导者之外，还是一些 C++11 特性的作者。

对于使用中文的 C++ 用户而言，很多人还是喜欢阅读原生的中文图书，而非翻译版本，即使是在他们具备阅读其他语言能力的时候。虽然 C++ 标准委员会的专家也在编写一些高质量的书籍，但是书籍从翻译到出版通常需要较长时间，而且一些词语或者意义都可能在翻译中丢失。而翻译者通常也会觉得技术书籍的翻译是门苦差，很多行话、术语通常难以找到准确的中文表达方式。这么一来不同的翻译者会使用不同的术语，即使是在同一本书中，有时同一术语也会翻译成不同的中文。这些状况都是 C++ 知识传播的阻碍，会拖慢 C++11 语言被中国程序员接受的进程。

基于以上种种原因，我们决定本书让母语是中文，并且了解国内外技术差距的 IBM 上海实验室的同事编写。我们知道，在中国有非常多的 C++ 狂热爱好者正等着学习关于自己最爱的编程语言的新知识。而新的 C++11 也会招来大量的初级、中级用户，而本书也正好能满足这些人的需求。

所以，如果你属于以下几种状况之一，将会非常适合阅读本书：

- C 语言经验非常丰富且正在期待着看看 C++11 新功能的读者。
- 使用 C++98/03 并期待使用新的 C++11 的程序员。
- 任何对新的 C++11 语言感兴趣的人。

在本书中，我们引述了 C++ 之父 Bjarne Stroustrup 教授关于 C++11 的设计原则。而事实上，本书的章节划分也是基于这些设计原则的，读者在第 1 章可以找到相关信息，而剩余章节则是基于该原则对每个 C++11 语言进行的划分。对于每个特性，本书将根据其相关的论文展开描述，讲解如设计的缘由、语法规则、如何使用等内容。而书后的附录，则包括当前的

C++11 编译器支持状况、不兼容性、废弃的特性，以及论文的链接等内容。

在读完本书后，读者应该能够回答以下问题：

- ❑什么是 lambda，及怎么样使用它是最好的？
- ❑decltype 和 auto 类型推导有什么关系？
- ❑什么是移动语义，以及（右值引用）是如何解决转发问题的？
- ❑default/deleted 函数以及 override 是怎么回事？
- ❑异常描述符被什么替代了？ noexcept 是如何工作的？
- ❑什么是原子类型以及新的内存模型？
- ❑如何在 C++11 中做并行编程？

对于标准程序库，我们在本书中并没有介绍。这部分内容可能会成为我们下一本书的内容。这意味着我们将在下一本书中不仅会描述新的算法、新的类库，还会更多地描述原子类型。虽然出于性能考虑，大多数的编译器都是通过语言特性的方式来实现原子类型的，但在 C++11 标准中，原子类型却被视为一种库特性，因其可以通过库的方式来实现。同样的，这样一本书也不会教读者基础的 C++ 知识，如果读者想了解这方面的内容，我们推荐 Stroustrup 教授的《Programming principles & Practice Using C++》（中文译为：《C++ 程序设计原理与实践》，华章公司已出版）。该书是 Stroustrup 教授以其在德克萨斯 A&M 大学教授的课程为基础编写的。

对 C++11 特性感兴趣的读者可以顺序阅读本书。当然，读者也可以直接阅读自己感兴趣的章节，但是读者阅读时肯定会发现，这些特性基本和其他的特性一样，遵从了相同的设计准则。

我们也希望本书对你的职业或者个人学习起到积极的作用。当然，我们在合作写作本书，以及在为 IBM C++ 编译器开发 C++11 特性时，也颇有收获。

本书的编写经历了较长的时间，但这是值得的。我在 C++ 标准委员会工作的时候，只是在考虑写这样一本书，而官孝峰则让我从这样的考虑转到了动手行动。继而他还激励并领导其他成员共同参与，最终完成了本书。

此外，我要感谢我的一些正式的以及非正式的导师，比如 Bjarne Stroustrup、Herb Sutter、Hans Boehm、Anthony Williams、Scott Meyers，以及许多其他人，通过阅读他们的著作，或观察他们在委员会中的工作，我学会了很多。当然，更要感谢 IBM 为我们提供的平台、时间，以及各种便利，因为有了这些最终我们才能够超越自我，为新一代的程序员做一些事情，即使这样的事情可能微不足道。还要感谢的是我的家人，Sophie、Cameron、Spot（猫）和 Susan，让我能够在空闲时间完成书籍编写。

Michael