

國立臺灣大學電機資訊學院電子工程學研究所

碩士論文

Graduate Institute of Electronics Engineering

College of Electrical Engineering and Computer Science

National Taiwan University

Master Thesis

國立臺灣大學碩博士畢業論文模版

Quantum Circuit Design Automation for Quantum State
Discrimination of Arbitrary Number of States

馬健凱

Chien-Kai Ma

指導教授：江介宏 博士

Advisor: Jie-Hong Roland Jiang, Ph.D.

中華民國 113 年 7 月

July 2024



國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書



國立臺灣大學碩博士畢業論文模版

Quantum Circuit Design Automation for Quantum
State Discrimination of Arbitrary Number of States

本論文係馬健凱君（R11943106）在國立臺灣大學電子工程學研究所完成之碩士學位論文，於民國 113 年 7 月 23 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：_____

（指導教授）

_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

所 長：_____





Acknowledgements

常到外國朋友家吃飯。當蠟燭燃起，菜肴布好，客主就位，總是主人家的小男孩或小女孩舉起小手，低頭感謝上天的賜予，並歡迎客人的到來。

我剛到美國時，常鬧得尷尬。因為在國內養成的習慣，還沒有坐好，就開動了。

以後凡到朋友家吃飯時，總是先囑咐自己；今天不要忘了，可別太快開動啊！幾年來，我已變得很習慣了。但我一直認為只是一種不同的風俗儀式，在我這方面看來，忘或不忘，也沒有太大的關係。

前年有一次，我又是到一家去吃飯。而這次卻是由主人家的祖母謝飯。她雪白的頭髮，顫抖的聲音，在搖曳的燭光下，使我想起兒時的祖母。那天晚上，我忽然覺得我平靜如水的情感翻起滔天巨浪來。

在小時候，每當冬夜，我們一大家人圍著個大圓桌吃飯。我總是坐在祖母身旁。祖母總是摸著我的頭說：「老天爺賞我們家飽飯吃，記住，飯碗裡一粒米都不許剩，要是糟蹋糧食，老天爺就不給咱們飯了。」

剛上小學的我，正在念打倒偶像及破除迷信等為內容的課文，我的學校就是從前的關帝廟，我的書桌就是供桌，我曾給周倉畫上眼鏡，給關平戴上鬍子，祖母的話，老天爺也者，我覺得是既多餘，又落伍的。



不過，我卻很尊敬我的祖父母，因為這飯確實是他們掙的，這家確實是他們立的。我感謝面前的祖父母，不必感謝渺茫的老天爺。

這種想法並未因為年紀長大而有任何改變。多少年，就在這種哲學中過去了。

我在這個外國家庭晚飯後，由於這位外國老太太，我想起我的兒時，由於我的兒時，我想起一串很奇怪的現象。

祖父每年在「風裡雨裡的咬牙」，祖母每年在「茶裡飯裡的自苦」，他們明明知道要滴下眉毛上的汗珠，才能撿起田中的麥穗，而為什麼要謝天？我明明是個小孩子，混吃混玩，而我為什麼卻不感謝老天爺？

這種奇怪的心理狀態，一直是我心中的一個謎。

一直到前年，我在普林斯頓，瀏覽愛因斯坦的我所看見的世界得到了新的領悟。

這是一本非科學性的文集，專載些愛因斯坦在紀念會上啦，在歡迎會上啦，在朋友的喪禮中，他所發表的談話。

我在讀這本書時忽然發現愛因斯坦想盡量給聽眾一個印象：即他的貢獻不是源於甲，就是由於乙，而與愛因斯坦本人不太相干似的。

就連那篇亙古以來嶄新獨創的狹義相對論，並無參考可引，卻在最後天外飛來一筆，「感謝同事朋友貝索的時相討論。」

其他的文章，比如奮鬥苦思了十幾年的廣義相對論，數學部份推給了昔年好友的合作：這種謙抑，這種不居功，科學史中是少見的。

我就想，如此大功而竟不居，為什麼？像愛因斯坦之於相對論，像我祖母之

於我家。

幾年來自己的奔波，做了一些研究，寫了幾篇學術文章，真正做了一些小貢獻以後，才有了一種新的覺悟：即是無論什麼事，得之於人者太多，出之於己者太少。因為需要感謝的人太多了，就感謝天罷。無論什麼事，不是需要先人的遺愛與遺產，即是需要眾人的支持與合作，還要等候機會的到來。越是真正做過一點事，越是感覺自己的貢獻之渺小。

於是，創業的人，都會自然而然的想到上天，而敗家的人卻無時不想到自己。





[illegible]

關鍵字： LaTeX、中文、論文、模板





Abstract

Abstract

Keywords: LaTeX, CJK, Thesis, Template

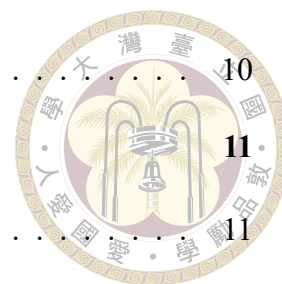




Contents

	Page
Verification Letter from the Oral Examination Committee	i
Acknowledgements	iii
摘要	vii
Abstract	ix
Contents	xi
List of Figures	xiii
List of Tables	xv
Denotation	xvii
Chapter 1 中國文學	1
1.1 draft_koova_20240622	1
1.2 短歌行	4
1.3 始得西山宴遊記	5
Chapter 2 中國文學	7
2.1 出師表	7
2.2 短歌行	8
Chapter 3 中文測試	9
3.1 史記	9

3.2	山海經	10
Chapter 4	中文測試	11
4.1	史記	11
4.2	山海經	12
Chapter 5	英文測試	13
5.1	出師表	13
5.2	短歌行	13
References		15
Appendix A — Introduction		17
A.1	Introduction	17
A.2	Further Introduction	17
Appendix B — Introduction		19
B.1	Introduction	19
B.2	Further Introduction	19





List of Figures





List of Tables

Table 1.1	A nice table	3
-----------	------------------------	---





Denotation

HPC	高性能計算 (High Performance Computing)
cluster	集群
Itanium	安騰
SMP	對稱多處理
API	應用程序編程接口
PI	聚酰亞胺
MPI	聚酰亞胺模型化合物，N-苯基鄰苯酰亞胺
PBI	聚苯並咪唑
MPBI	聚苯並咪唑模型化合物，N-苯基苯並咪唑
PY	聚吡嚨
PMDA-BDA	均苯四酸二酐與聯苯四胺合成的聚吡嚨薄膜
ΔG	活化自由能 (Activation Free Energy)

χ 傳輸系數 (Transmission Coefficient)

E 能量

m 質量

c 光速

P 概率

T 時間

v 速度



勸學

君子曰：學不可以已。青，取之於藍，而青於藍；冰，水為之，而寒於水。木直中繩。輅以為輪，其曲中規。雖有槁暴，不覆挺者，輅使之然也。故木受繩則直，金就礪則利，君子博學而日參省乎己，則知明而行無過矣。吾嘗終日而思矣，不如須臾之所學也；吾嘗跂而望矣，不如登高之博見也。登高而招，臂非加長也，而見者遠；順風而呼，聲非加疾也，而聞者彰。假輿馬者，非利足也，而致千裏；假舟楫者，非能水也，而絕江河，君子生非異也，善假於物也。積土成山，風雨興焉；積水成淵，蛟龍生焉；積善成德，而神明自得，聖心備焉。故不積跬步，無以至千裏；不積小流，無以成江海。騏驥一躍，不能十步；駑馬十駕，功在不舍。鍤而舍之，朽木不折；鍤而不舍，金石可鏤。蚓無爪牙之利，筋骨之強，上食埃土，下飲黃泉，用心一也。蟹六跪而二螯，非蛇鱈之穴無可寄托者，用心躁也。——荀況



Chapter 1 中國文學

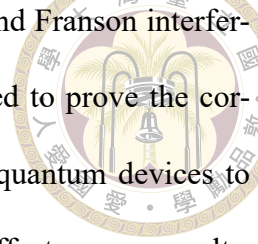
1.1 draft_koova_20240622

Quantum Circuit Design Automation for Quantum Interferometry

Chapter 1 Introduction

Quantum computation has become a crucial study since Moore's Law seems to be approaching its limit. The quantum computing paradigm aims to efficiently solve the problems that are not tractable for classical computers. The gate-based quantum computation has become mainstream to design quantum circuits, and various works have been proposed to address the challenges in the design flow of quantum computing. [for ex.]

interferometers have been an important tool to explore the physics of wave, e.g. the Mach-Zehnder interferometer and the Michelson interferometer. Quantum interferometry has been the interest of study in the optical physics society, and has found applications in many fields such as quantum metrology (or sensing), quantum communication, and even astronomy. [?] Optical interferometers have been built to observe the interference. The apparatus usually require a large amount of calibration effort and knowledge about the field. One of the important applications of Quantum state discrimination (QSD) We present the possibility to observe the interference patterns by running quantum circuits.



The proposed circuits represent the Mach-Zehnder interferometers and Franson interferometers. First, simulation of tractable quantum circuits is performed to prove the correctness of our circuit design. These circuits are then run on real quantum devices to demonstrate the feasibility of our proposal and research the noise effect on our results. These circuits could in return be the benchmarks of new quantum devices since they are sensitive to quantum noises. We expect the framework could be scaled up to serve as an alternative for quantum interferometry. The framework is based on IBM Qiskit [cite] and qclib [cite], and is modular.

- Problem statement This work aims to derive the quantum circuit representation of known interferometers, and discuss the design optimization in quantum state discrimination, which is an important application in quantum computing. - Franson interferometers

-

What is the point? I can simulate the quantum interferometers with quantum circuits. What are quantum interferometers? The interferometers that exhibit the behaviors that couldn't be fully explained by classical theories. For example, Mach-Zehnder is classical and Franson is quantum. Why are quantum interferometers important? fundamental research and industrial applications For example?

Chapter 2 Preliminaries quantum interferometry - first-order interference - second-order interference

Franson interferometer

- quantum state discrimination

- quantum state preparation Various methods have been proposed to use qclib quan-

tum circuit synthesis

Derivation Circuit designs Results



In this section, I provide the results why we build our circuits with `Qiskit.circuit.library.Isometry` instead of `qclib.decompose`.

To determine the best scheme for the isometry circuit, we design

ccd csd knill To obtain comprehensive results, we create the two target states such that their inner product is fixed.

Our target state

What is

this doing?

Table 1.1: A nice table

臣亮言：先帝創業未半，而中道崩殂。今天下三分，益州疲弊，此誠危急存亡之秋也。然侍衛之臣，不懈於內；忠志之士，忘身於外者，蓋追先帝之殊遇，欲報之於陛下也。誠宜開張聖聽，以光先帝遺德，恢弘志士之氣；不宜妄自菲薄，引喻失義，以塞忠諫之路也。宮中府中，俱為一體，陟罰臧否，不宜異同。若有作姦犯科，及為忠善者，宜付有司，論其刑賞，以昭陛下平明之治，不宜偏私，使內外異法也。

侍中、侍郎郭攸之、費禕、董允等，此皆良實，志慮忠純，是以先帝簡拔以遺陛下。愚以為宮中之事，事無大小，悉以咨之，然後施行，必能裨補闕漏，有所廣益。將軍向寵，性行淑均，曉暢軍事，試用於昔日，先帝稱之曰「能」，是以眾議舉寵為督。愚以為營中之事，悉以咨之，必能使行陣和睦，優劣得所。親賢臣，遠小人，此先漢所以興隆也；親小人，遠賢臣，此後漢所以傾頽也。先帝在時，每與臣論此事，未嘗不歎息痛恨於桓、靈也。侍中、尚書、長史；參軍，此

悉貞良死節之臣也，願陛下親之信之，則漢室之隆，可計日而待也。

臣本布衣，躬耕於南陽，苟全性命於亂世，不求聞達於諸侯。先帝不以臣卑鄙，猥自枉屈，三顧臣於草廬之中，諮臣以當世之事，由是感激，遂許先帝以驅馳。後值傾覆，受任於敗軍之際，奉命於危難之間，爾來二十有一年矣！先帝知臣謹慎，故臨崩寄臣以大事也。受命以來，夙夜憂勤，恐託付不效，以傷先帝之明。故五月渡瀘，深入不毛。今南方已定，兵甲已足，當獎率三軍，北定中原，庶竭駑鈍，攘除奸凶，興復漢室，還於舊都；此臣所以報先帝而忠陛下之職分也。至於斟酌損益，進盡忠言，則攸之、禕、允之任也。

願陛下託臣以討賊興復之效；不效，則治臣之罪，以告先帝之靈。若無興德之言，則戮允等，以彰其慢。陛下亦宜自課，以諮諏善道，察納雅言，深追先帝遺詔，臣不勝受恩感激。

今當遠離，臨表涕泣，不知所云。

1.2 短歌行

對酒當歌，人生幾何！譬如朝露，去日苦多。慨當以慷，憂思難忘。何以解憂？唯有杜康。青青子衿，悠悠我心。但為君故，沉吟至今。呦呦鹿鳴，食野之苹。我有嘉賓，鼓瑟吹笙。明明如月，何時可掇？憂從中來，不可斷絕。越陌度阡，枉用相存。契闊談宴，心念舊恩。月明星稀，烏鵲南飛。繞樹三匝，何枝可依？山不厭高，海不厭深。周公吐哺，天下歸心。



1.3 始得西山宴遊記

自余爲僇人，居是州，恆惴慄。其隙也，則施施而行，漫漫而遊。日與其徒上高山，入深林，窮回溪；幽泉怪石，無遠不到。到則披草而坐，傾壺而醉，醉則更相枕以臥，臥而夢。意有所極，夢亦同趣。覺而起，起而歸。以爲凡是州之山有異態者，皆我有也，而未始知西山之怪特。

今年九月二十八日，因坐法華西亭，望西山，始指異之。遂命僕人過湘江，緣染溪，斫榛莽，焚茅茷，窮山之高而止。攀援而登，箕踞而遨，則凡數州之土壤，皆在衽席之下

其高下之勢，呀然窪然，若垤若穴，尺寸千里，攢蹙累積，莫得遁隱；縈青繚白，外與天際，四望如一。然後知是山之特出，不與培塿爲類。悠悠乎與灝氣俱，而莫得其涯；洋洋乎與造物者遊，而不知其所窮。

引觴滿酌，頽然就醉，不知日之入，蒼然暮色，自遠而至，至無所見，而猶不欲歸。心凝形釋，與萬化冥合。然後知吾向之未始遊，遊於是乎始，故爲之文以志。是歲，元和四年也。






Chapter 2 中國文學

2.1 出師表

臣亮言：先帝創業未半，而中道崩殂。今天下三分，益州疲弊，此誠危急存亡之秋也。然侍衛之臣，不懈於內；忠志之士，忘身於外者，蓋追先帝之殊遇，欲報之於陛下也。誠宜開張聖聽，以光先帝遺德，恢弘志士之氣；不宜妄自菲薄，引喻失義，以塞忠諫之路也。宮中府中，俱為一體，陟罰臧否，不宜異同。若有作姦犯科，及為忠善者，宜付有司，論其刑賞，以昭陛下平明之治，不宜偏私，使內外異法也。

侍中、侍郎郭攸之、費禕、董允等，此皆良實，志慮忠純，是以先帝簡拔以遺陛下。愚以為宮中之事，事無大小，悉以咨之，然後施行，必能裨補闕漏，有所廣益。將軍向寵，性行淑均，曉暢軍事，試用於昔日，先帝稱之曰「能」，是以眾議舉寵為督。愚以為營中之事，悉以咨之，必能使行陣和睦，優劣得所。親賢臣，遠小人，此先漢所以興隆也；親小人，遠賢臣，此後漢所以傾頽也。先帝在時，每與臣論此事，未嘗不歎息痛恨於桓、靈也。侍中、尚書、長史；參軍，此悉貞良死節之臣也，願陛下親之信之，則漢室之隆，可計日而待也。

臣本布衣，躬耕於南陽，苟全性命於亂世，不求聞達於諸侯。先帝不以臣卑鄙，猥自枉屈，三顧臣於草廬之中，諮臣以當世之事，由是感激，遂許先帝以驅



馳。後值傾覆，受任於敗軍之際，奉命於危難之間，爾來二十有一年矣！先帝知臣謹慎，故臨崩寄臣以大事也。受命以來，夙夜憂勤，恐託付不效，以傷先帝之明。故五月渡瀘，深入不毛。今南方已定，兵甲已足，當獎率三軍，北定中原，庶竭駑鈍，攘除奸凶，興復漢室，還於舊都；此臣所以報先帝而忠陛下之職分也。至於斟酌損益，進盡忠言，則攸之、禕、允之任也。

願陛下託臣以討賊興復之效；不效，則治臣之罪，以告先帝之靈。若無興德之言，則戮允等，以彰其慢。陛下亦宜自課，以諮諏善道，察納雅言，深追先帝遺詔，臣不勝受恩感激。

今當遠離，臨表涕泣，不知所云。

2.2 短歌行

對酒當歌，人生幾何！譬如朝露，去日苦多。慨當以慷，憂思難忘。何以解憂？唯有杜康。青青子衿，悠悠我心。但為君故，沉吟至今。呦呦鹿鳴，食野之苹。我有嘉賓，鼓瑟吹笙。明明如月，何時可掇？憂從中來，不可斷絕。越陌度阡，枉用相存。契闊談宴，心念舊恩。月明星稀，烏鵲南飛。繞樹三匝，何枝可依？山不厭高，海不厭深。周公吐哺，天下歸心。



Chapter 3 中文測試

3.1 史記

項籍者，下相人也，字羽。初起時，年二十四。其季父項梁，梁父即楚將項燕，為秦將王翦所戮者也。項氏世世為楚將，封於項，故姓項氏。

項籍少時，學書不成，去學劍，又不成。項梁怒之。籍曰：「書足以記名姓而已。劍一人敵，不足學，學萬人敵。」於是項梁乃教籍兵法，籍大喜，略知其意，又不肯竟學。項梁嘗有櫟陽逮，乃請蕲獄掾曹咎書抵櫟陽獄掾司馬欣，以故事得已。項梁殺人，與籍避仇於吳中。吳中賢士大夫皆出項梁下。每吳中有大繇役及喪，項梁常為主辦，陰以兵法部勒賓客及子弟，以是知其能。秦始皇帝游會稽，渡浙江，梁與籍俱觀。籍曰：「彼可取而代也。」梁掩其口，曰：「毋妄言，族矣！」梁以此奇籍。籍長八尺餘，力能扛鼎，才氣過人，雖吳中子弟皆已憚籍矣。

秦二世元年七月，陳涉等起大澤中。其九月，會稽守通謂梁曰：「江西皆反，此亦天亡秦之時也。吾聞先即制人，後則為人所制。吾欲發兵，使公及桓楚將。」是時桓楚亡在澤中。梁曰：「桓楚亡，人莫知其處，獨籍知之耳。」梁乃出，誡籍持劍居外待。梁復入，與守坐，曰：「請召籍，使受命召桓楚。」守曰：「諾。」梁召籍入。須臾，梁眴籍曰：「可行矣！」於是籍遂拔劍斬守頭。項梁持守頭，佩其印綬。門下大驚，擾亂，籍所擊殺數十百人。一府中皆懼伏，莫敢起。梁乃召故

所知豪吏，諭以所為起大事，遂舉吳中兵。使人收下縣，得精兵八千人。梁部署吳中豪傑為校尉、候、司馬。有一人不得用，自言於梁。梁曰：「前時某喪使公主某事，不能辦，以此不任用公。」眾乃皆伏。於是梁為會稽守，籍為裨將，徇下縣。

3.2 山海經

南山經之首曰 山。其首曰招搖之山，臨于西海之上，多桂，多金玉。有草焉，其狀如韭而青花，其名曰祝餘，食之不飢。有木焉，其狀如穀而黑理，其花四照，其名曰迷穀，佩之不迷。有獸焉，其狀如禺而白耳，伏行人走，其名曰狴狴，食之善走。麗 之水出焉，而西流注于海，其中多育沛，佩之無瘕疾。

又東三百里，曰堂庭之山，多棧木，多白猿，多水玉，多黃金。

又東三百八十里，曰猿翼之山，其中多怪獸，水多怪魚，多白玉，多腹虫，多怪蛇，多怪木，不可以上。



Chapter 4 中文測試

4.1 史記

項籍者，下相人也，字羽。初起時，年二十四。其季父項梁，梁父即楚將項燕，為秦將王翦所戮者也。項氏世世為楚將，封於項，故姓項氏。

項籍少時，學書不成，去學劍，又不成。項梁怒之。籍曰：「書足以記名姓而已。劍一人敵，不足學，學萬人敵。」於是項梁乃教籍兵法，籍大喜，略知其意，又不肯竟學。項梁嘗有櫟陽逮，乃請蕲獄掾曹咎書抵櫟陽獄掾司馬欣，以故事得已。項梁殺人，與籍避仇於吳中。吳中賢士大夫皆出項梁下。每吳中有大繇役及喪，項梁常為主辦，陰以兵法部勒賓客及子弟，以是知其能。秦始皇帝游會稽，渡浙江，梁與籍俱觀。籍曰：「彼可取而代也。」梁掩其口，曰：「毋妄言，族矣！」梁以此奇籍。籍長八尺餘，力能扛鼎，才氣過人，雖吳中子弟皆已憚籍矣。

秦二世元年七月，陳涉等起大澤中。其九月，會稽守通謂梁曰：「江西皆反，此亦天亡秦之時也。吾聞先即制人，後則為人所制。吾欲發兵，使公及桓楚將。」是時桓楚亡在澤中。梁曰：「桓楚亡，人莫知其處，獨籍知之耳。」梁乃出，誡籍持劍居外待。梁復入，與守坐，曰：「請召籍，使受命召桓楚。」守曰：「諾。」梁召籍入。須臾，梁眴籍曰：「可行矣！」於是籍遂拔劍斬守頭。項梁持守頭，佩其印綬。門下大驚，擾亂，籍所擊殺數十百人。一府中皆懼伏，莫敢起。梁乃召故

所知豪吏，諭以所為起大事，遂舉吳中兵。使人收下縣，得精兵八千人。梁部署吳中豪傑為校尉、候、司馬。有一人不得用，自言於梁。梁曰：「前時某喪使公主某事，不能辦，以此不任用公。」眾乃皆伏。於是梁為會稽守，籍為裨將，徇下縣。

4.2 山海經

南山經之首曰 山。其首曰招搖之山，臨于西海之上，多桂，多金玉。有草焉，其狀如韭而青花，其名曰祝餘，食之不飢。有木焉，其狀如穀而黑理，其花四照，其名曰迷穀，佩之不迷。有獸焉，其狀如禺而白耳，伏行人走，其名曰狴狴，食之善走。麗 之水出焉，而西流注于海，其中多育沛，佩之無瘕疾。

又東三百里，曰堂庭之山，多棧木，多白猿，多水玉，多黃金。

又東三百八十里，曰猿翼之山，其中多怪獸，水多怪魚，多白玉，多腹虫，多怪蛇，多怪木，不可以上。



Chapter 5 英文測試

5.1 出師表

5.2 短歌行





References





Appendix A — Introduction

A.1 Introduction

A.2 Further Introduction





Appendix B — Introduction

B.1 Introduction

B.2 Further Introduction