

PhD disszertáció bírálóat

Balló Gábor: Parameter estimation and robustness analysis of quantum information systems

Témaválasztás:

A kvantum információ elmélet művelése meghatározó szerepet tölt be a holnap informatika és kommunikációs rendszereinek fejlesztése során. A hibajavító kódolás ezen a területen belül kiemelkedő jelentőséggel bír, hisz nélkülözhetetlen a megbízható adattároláshoz és továbbításhoz. A kvantum csatorna identifikációs módszerei, illetve ezek alapján a vonatkozó paramétereinek becslése pedig lehetővé teszi a hatékony kommunikáció megvalósítását. A jelölt által vizsgált témakörök a nemzetközi kutatás és publikációs fórumok homlokterében helyezkednek el, és így mint témaválasztás kiválóak.

A disszertáció és a tézisek értékelése:

A disszertációban a jelölt 4 tézisben 10 altézist fogalmaz meg mintegy 100 oldalon 9 fejezetbe rendezve. A bevezető fejezetek kiválóan szerkesztettek, a szakterületen nem közvetlenül jártas olvasót is megfelelően képbe helyezik. A vonatkozó szakirodalom feldolgozása alapos, valamennyi releváns tétel említésre kerül. A jelölt a tudományos értékkel bíró új eredményeit összevetette az irodalomban fellelhető referenciákkal és ezekhez viszonyítva elemezte, értékelte őket. A jelölt a tanszéki védésen elhangzott bírálói észrevételeket maradéktalanul megfogadta és beépítette a disszertáció benyújtott változatába, az így kialakított tézis struktúra logikus és jól tükrözi a jelölt tudományos eredményeit.

A következőkben a tézisekkel kapcsolatos meglátásaimat foglalom össze.

1. tétel: A kvantum hibajavítás robusztussága

(i) altétel: Pauli csatornák hibajavításának robusztusságáról

A jelölt a csatorna bizonytalanságát egy néveleges csatorna és egy perturbációs csatorna konvex kombinációjaként definiálta, valamint bevezette a robusztussági tartományok fogalmát. Megítélésem szerint a definíció logikusan felépített. A jelölt belátta, hogy egyes Pauli-csatornák zéró-robusztussági tartományt képeznek a Pauli-csatornák halmazában, valamint ha egy csatorna tartomány belsejében helyezkedik el, akkor az optimális QEC robusztus a csatorna bármely Pauli-perturbációjával szemben. Két ilyen tartomány határán viszont legalább két optimális QEC határozható meg melyek azonos maximális fidelity-t adnak.

(ii) altétel: A kvantum hibajavítás robusztussága

A jelölt megmutatta, hogy egy zéró-robusztussági tartomány belsejében található Pauli-csatorna esetén a az optimális QEC operáció robusztusabb bármely más hibajavító művelet. A jelölt konzekvensen vezeti végig az olvasót az alapesettől indulva az általános esetig. Tömören, de logikusan fogalmaz. Mindkét altézist új tudományos eredménynek fogadom el.

(iii) altétel: Esettanulmányok non-Pauli csatornákra

A jelölt alkalmasan választott non-Pauli csatornákra épülő esettanulmányokra alapozva vont le további következtetéseket a kvantum hibajavítás robusztusságára vonatkozóan. Nyilván az így kapott eredmények érvényességi köre korlátozott, ugyanakkor az esettanulmányok megválasztásánál a jelölt körültekintően járt el.

Az altézisek állításait új tudományos eredménynek fogadom el.

2. tézis: Ismert struktúrájú Pauli csatornák paraméter becslése kvantum folyamat-tomográfia segítségével

(i) altézis: Choi-mátrixokra épülő paraméter becslés Pauli-csatornákra.

Maga a folyamat-tomográfia alkalmazása csatorna paraméterek becslésére kiváló ötlet. Ebben az altézisben a jelölt egy másik (szimulációs) eszköztárat alkalmaz a javasolt paraméter-becslő eljárás elemzéséhez. A jelölt megmutatta, hogy a szimulációs vizsgálatok terén is otthonosan mozog. A javasolt módszer jelentősen növeli a paraméterbecslés pontosságát.

(iv) altézis: Konvex relációk

A jelölt megmutatta, hogy Nempauli csatornák esetén az optimalizációs változók közötti konvex kapcsolatok kiaknázásával javítható a becslés, de szükség van egy nemkonvex optimalizálási lépésre is. Ahogy a jelölt is jelzi az optimum globális volta nem bizonyított. Érdekes lenne ebben az irányban további lépéseket tenni (milyen esetben globális az optimum, illetve ha lokális, akkor mennyire közelíthető meg a globális optimum?).

Az altézisek állításait új tudományos eredménynek fogadom el.

3. tézis: Tetszőleges szintű, ismert struktúrájú Pauli-csatornák konvex maximalizálása

(i) altézis: A jelölt belátta, hogy a Fisher-információ konvex függvénye a bemenő és mérési paramétereknek. Ebből következik, hogy az optimális bemenő állapotnak tisztának kell lennie.

(ii) altézis: A jelölt belátta, hogy egy-qubites Pauli-csatornák esetén pedig a csatorna-irányokban végzett projektív mérés lesz optimális.

(iii) altézis: A jelölt különböző esettanulmányban szemléltette a fenti eredményeket, illetve vizsgálta a csatornaparaméterek hatását az optimális konfigurációra. Valamint a paraméterbecslés hatékonyságát vetette össze más eredményekkel.

Az altézisek állításait új tudományos eredménynek fogadom el.

4. tézis: Ismeretlen struktúrájú Pauli-csatornák becslési módszerei

(i) altézis: A jelölt egy hatékony iteratív eljárást dolgozott ki Pauli-csatornákra, mely erőforrás igényes ugyan, de teljesen ismeretlen csatornák esetén is optimális megoldáshoz vezet két lépésben.

(ii) altézis: A jelölt kidolgozott egy adaptív algoritmust is. A jelölt összehasonlította az adaptív megoldását három nem-adaptív módszerrel is, és megmutatta az új eljárásnak köszönhető hatékonyság növekedést is.

Talán mérnöki végzettségem, illetve az eredmények általánossága miatt, de számomra a 4. tézis az amúgy is színvonalas disszertáció legértékesebb része.

Az altézisek állításait új tudományos eredménynek fogadom el.

Szerkesztés, forma:

A disszertáció struktúrája és szerkesztése kiváló. A disszertáció tördelése megkönnyíti az olvasást, a képletek szervesen illeszkednek a szövegbe támogatva annak megértését. A dolgozat angolsága megfelelő.

Összességében megállapítható, hogy a jelölt képes a PhD fokozathoz szükséges önálló modellalkotásra, tézisek megfogalmazására és állításai bizonyításához szükséges eszköztár alkalmazására.

Kiemelem, hogy elismerésre méltó a jelölt azon törekvése, hogy a mérnöki hagyományokhoz hűen disszertációjában elméleti és szimulációs eszköztárat is alkalmazott állításai igazolására.

A jelölt publikációs tevékenysége elismerésre méltó, különös tekintettel a két rangos nemzetközi folyóirat publikációra. Javaslom a disszertáció nyilvános vitára bocsátását.

Kérdések a jelölthöz:

1. A 8.2 ábra kapcsán mi állhat a random módszer által adott görbék eltérő jellege mögött? Készült-e esetleg más paraméterhalmazzal is vizsgálat?
2. Kvantum rendszerek klasszikus környezetbeli szimulációjánál a tökéletes véletlent csak közelíteni tudjuk. A szimulációs vizsgálatoknál milyen véletlen szám generátort használt a jelölt? Ellenőrizete/tesztelte-e annak minőségét?

Budapest, 2014. június 20.

Dr. Imre Sándor, DSc
Egyetemi tanár
BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék