

doi: 10.3788/gzxb20124104.0497

基于纠缠度计算的量子移动信令相邻小区越区切换策略及仿真

王志¹, 聂敏¹, 刘晓慧^{1,2}

(1 西安邮电学院 通信与信息工程学院, 西安 710061)

(2 西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室, 西安 710071)

摘 要:信令是任何通信系统必不可少的重要组成部分,量子移动通信也不例外.然而,关于量子移动通信信令在相邻小区越区切换过程中的切换策略问题的研究迄今尚未展开.随着移动用户位置的变化,用户与基站间的纠缠度不断变化.本文提出了基于纠缠度计算的量子信令在相邻小区的越区切换策略.首先定义了信令纠缠度与距离的关系,然后研究了用户位置改变所导致用户与基站之间信令纠缠度的变化情况,提出了基于纠缠度阈值计算的切换算法.仿真结果表明,本文所提出的信令切换策略可靠性高,能够在各基站之间实现平稳切换.因此,本研究对于构造量子移动通信网络的信令系统及其标准的制定具有极为重要的技术支撑作用.

关键词:量子移动信令;越区切换;纠缠度计算;量子纠缠

中图分类号:G301

文献标识码:A

文章编号:1004-4213(2012)04-0497-4

0 引言

量子移动通信是量子通信与移动通信系统的有机结合,具有灵活、安全、保密等优点^[1].信令是该系统的控制部分,量子信令在量子移动通信网络^[2]中具有不可替代的作用.然而,关于量子移动通信信令在相邻小区越区切换过程中的切换策略问题的研究迄今尚未展开.越区切换是移动通信系统的关键技术之一.信令是越区切换的控制信号.随着移动用户位置的变化,用户与基站间的纠缠度不断变化.因此,必须探讨基于纠缠度计算的量子信令在相邻小区的越区切换策略.传统移动通信系统是基于信号强度测量的越区切换,用户的位置变化,导致了基站接收到移动台的信号强度也在不断变化,移动控制中心根据每个基站接收到信号的强弱来判断是否进行越区切换.量子移动通信的越区切换方式则截然不同.因为量子移动通信是基于量子纠缠的通信,量子之间的纠缠关系是通过纠缠度来衡量的^[3-6].所以,首先必须描述信令纠缠度^[7-11]与距离的关系,然后研究用户位置改变所导致用户与基站之间信令纠缠度的变化情况,提出基于纠缠度阈值计算的切换算法.研究在量子移动通信中,纠缠度又可以用量子

移动台与基站之间的距离函数来描述.

为了解决量子移动通信系统相邻小区越区切换问题,本文提出了基于纠缠度计算的量子信令在相邻小区的越区切换策略,研究了用户位置改变所导致用户与基站之间信令纠缠度的变化情况,给出了基于纠缠度阈值计算的切换算法,并进行了相关的仿真研究.

1 移动信令纠缠度的描述

信令是移动台与基站之间的控制信号,决定了是否需要切换,如何切换,以及何时切换.量子移动终端与基站之间的信令纠缠度可表示为

$$E_{(xy)} = \frac{1}{\sqrt{x^2 + |y-H|^2}} \quad (1)$$

式中 $E_{(xy)}$ 是信令纠缠度, x 表示量子移动终端到基站中心的垂直距离, y 表示移动终端相对于基站底部水平面的高度, H 表示基站的高度,如图 1 所示.

由于 $E_{(xy)}$ 与 x 成反比,故有

$$S = \frac{1}{E_{(xy)}} = \sqrt{x^2 + |y-H|^2} \quad (2)$$

式中, S 是 $E_{(xy)}$ 的倒数, S_i 表示移动终端与第 i 个基站的直线距离,所以

基金项目:国家自然科学基金(No. 61172071)、陕西省自然科学基金(No. 2010JM8021)、陕西省教育厅自然科学基金项目(No. 2010JK834)和西安邮电学院青年教师科研基金(No. ZL2010-05)资助

第一作者(通讯作者):王志(1986—),男,硕士研究生,主要研究方向为量子通信、移动通信. Email: wangwanwangzhi@163.com

导 师:聂敏(1964—),男,教授,主要研究方向为量子通信、移动通信、现代通信网理论和关键技术. Email: niemin@xupt.edu.cn

收稿日期:2011-09-27; **修回日期:**2011-10-31

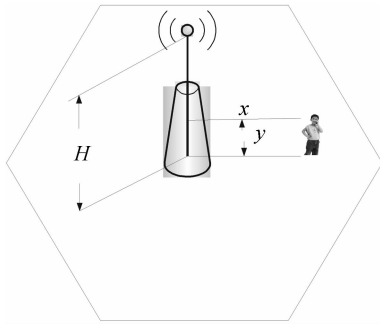


图1 移动终端与基站的空间几何关系
Fig.1 Space geometry relationship between mobile terminals and base station

$$S_i = x_i + |y - H|^2 \quad (3)$$

由此可见,计算信令纠缠度的问题,就转化为计算 S_i^2 的问题.

2 移动终端的位置与信令纠缠度的关系

纠缠度满足

$$E_{(xy)} = \frac{1}{\sqrt{x_i + |y - H|^2}} \quad (4)$$

对于同一个移动台而言,其高度 y 是一定的,基站的高度 H 也是确定的.假设移动终端 Alice 与各基站之间的距离相比,有如下关系

$$x_1 \geq x_2 \geq x_3 \cdots \geq x_{n-1} \geq x_n \quad (5)$$

式中 x_i 表示移动台到第 i 个基站的距离.如果已知 Alice 在哪个小区,则很容易比较出它与各基站之间的信令纠缠度的大小.例如,Alice 在第 I 小区,则有 $x_1 < x_2 \leq x_3 \cdots \leq x_{n-1} \leq x_n$,易知 Alice 与第 I 小区的信令纠缠度最大.这样,只要 Alice 位置改变,就会导致 Alice 与基站之间距离的改变,即 x_i 的值就发生了变化,其信令纠缠度就会随时变化.

3 基于信令纠缠度阈值计算的切换算法

假设 Alice 和 Bob 进行通信,开始时 Alice 在第 I 小区,Bob 在第 II 小区. Bob 静止不动,第 II 小区为当前基站; Alice 是运动的,箭头表示 Alice 的运动方向, Alice 正由第 I 小区向第 IV 小区运动,如图 2 所示.

设 S_{B_2} 表示 Bob 与第二小区基站之间的距离, x_{B_2} 表示 Bob 与第二小区基站底部之间的距离,如图 3 所示.

初始时,第 II 小区是 Bob 的服务区,则有

$$S_{B_2} = x_{B_2}^2 + |y - H|^2 \quad (6)$$

由于 Bob 静止不动,故 S_{B_2} 不变,这样 Bob 与第 II 小区之间的信令纠缠度不变.下面要计算 Alice

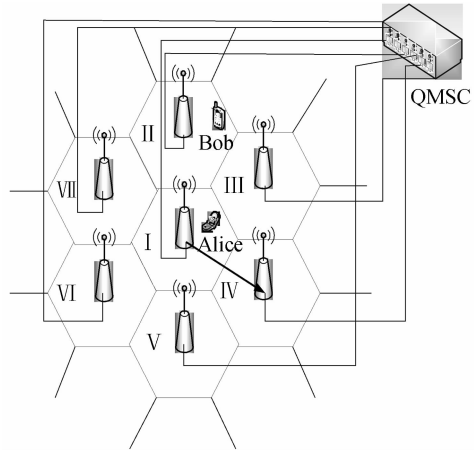


图2 Alice 与 Bob 的位置关系及 Alice 运动方向图
Fig.2 Alice and Bob position relationship and Alice movement directional diagram

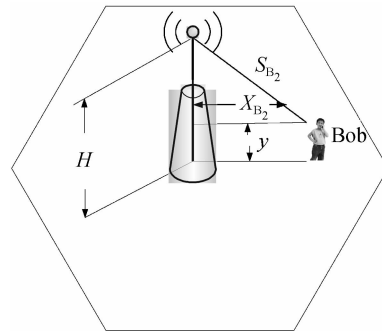


图3 Bob 与当前基站的空间几何关系
Fig.3 Bob and current base station space geometry relationship

与各基站之间的信令纠缠度.该信令纠缠度同样通过计算 S_{A_i} 得到.对于 Alice,在第 I 小区时,与相邻基站之间信令纠缠度的计算可简化为如下步骤:

量子基站用 QBS 来表示. QBS_i 表示第 i 个基站.

Alice 与 QBS_1 距离的二次方为

$$S_{A_1}^2 = x_{A_1}^2 + |y - H|^2 \quad (7)$$

同理,Alice 与任何一个 QBS_i 的距离二次方为

$$S_{A_i}^2 = x_{A_i}^2 + |y - H|^2 \quad (8)$$

开始时,Alice 在第 I 小区,所以有

$$S_{A_1}^2 < S_{A_2}^2 \leq S_{A_3}^2 \cdots \leq S_{A_N}^2 \quad (9)$$

式中 S_{A_i} 表示 Alice 与第 i 个基站之间距离的二次方.

Alice 从第 I 小区运动到第 IV 小区,这个过程 Alice 与相邻小区之间距离的二次方都在不断变化.有如下三种情况:

(a)当 Alice 运动至第 I、IV 小区边界处时, S_{A_1} 不断地变大,但是仍有

$$S_{A_1}^2 < S_{A_2}^2 \leq S_{A_3}^2 \cdots \leq S_{A_N}^2 \quad (10)$$

(b)当 Alice 运动至第 I、IV 边界处时,有

$$S_{A_1}^2 = S_{A_4}^2 \leq S_{A_2}^2 \leq S_{A_3}^2 \cdots \leq S_{A_N}^2 \quad (11)$$

(c)当 Alice 行走至第 IV 小区时,有

$$S_{A_4}^2 < S_{A_1}^2 \leq S_{A_2}^2 \leq S_{A_3}^2 \leq S_{A_5}^2 \dots \leq S_{A_N}^2 \quad (12)$$

由于 $S_i \propto S \propto \frac{1}{E_{(xy)}}$, 故 S_i^2 值大的, 反而其纠缠度 $E_{(xy)}$ 值小. 这样量子基站控制器把计算得到的 S_i^2 的值移交给量子移动控制中心, 量子移动控制中心通过比较收到量子移动台附近相邻小区基站控制器移交的 S_i^2 值, 选择出最小的 S_i^2 值, 决定量子移动台切换到该小区. 当然, 最后量子移动控制中心需要计算出纠缠度的值, 对每个小区的通信质量进行评估.

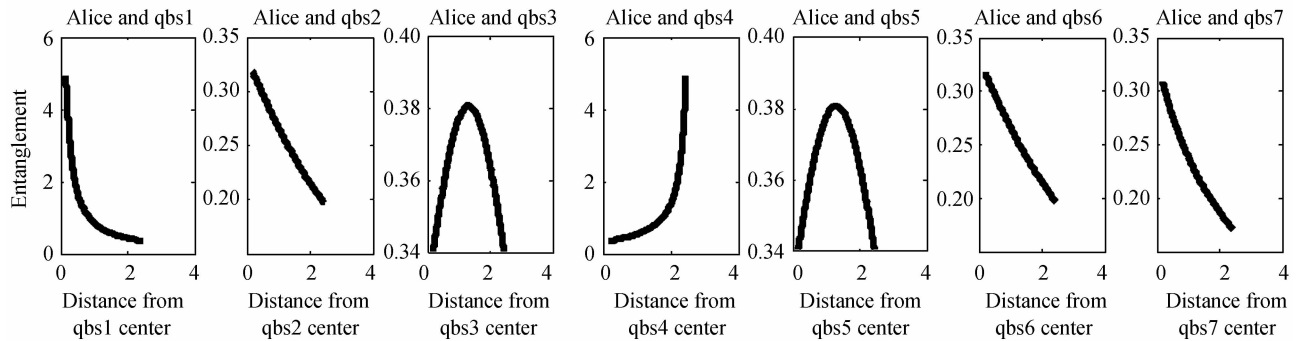


图4 Alice运动过程中与各基站纠缠度变化图

Fig. 4 Alice move process and the change of every base station entanglement degree diagram

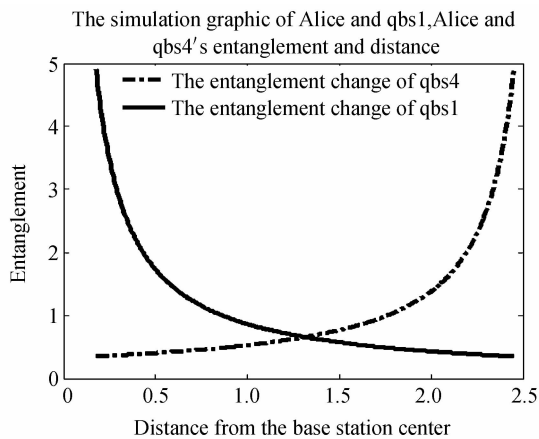


图5 Alice由qbs₁运动到qbs₄过程中与qbs₁、qbs₄纠缠度变化图

Fig. 5 Alice moves from qbs₁ to qbs₄ and the change of qbs₁、qbs₄ entanglement degree diagram

经分析, 此仿真图形与理论分析完全相符.

5 结论

本文提出的基于纠缠度计算的量子移动通信相邻小区越区切换策略可以在各基站之间实现平稳切换, 易于实现.

参考文献

- [1] ZHU C H, PEI C X, QUAN D X, *et al.* A new quantum key distribution scheme based on frequency and time coding[J]. *Chinese Physics Letters*, 2010, **27**(9): 301-304.
- [2] ZHU Chang-hua, PEI Chang-Xing, MA Huai-xin, *et al.* A scheme for quantum local area network and its performance analysis[J]. *Journal of Xidian University(Natural Science)*, 2006, **33**(6): 839-843.

朱畅华, 裴昌幸, 马怀新, 等. 一种量子局域网方案及性能分析

4 仿真及分析

基于以上理论分析, 现对以上分析进行仿真. 通过 Alice 的运动路线, 对 Alice 与各基站的纠缠度进行了仿真. 仿真图像如图 4、图 5 所示. 其中图 4 表示 Alice 运动过程中, 与各基站纠缠度变化仿真图. 图 5 表示 Alice 运动过程中, 与 qbs₁、qbs₄ 纠缠度变化情况仿真图.

[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2006, **33**(6): 839-843.

- [3] ZHAO Zhi, CHEN Yu-ao, ZHANG An-ning, *et al.* Experimental demonstration of five-photon entanglement and open-destination teleportation[J]. *Nature*, 2004, **430**(1): 54-58.
- [4] DUAN L M, LUKIN M D, CIRAC J I, *et al.* Long-distance quantum communication with atomic ensembles and linear optics[J]. *Nature*, 2001, **414**(5): 413-418.
- [5] PAN Jian-wei, CHRISTOPH Simon, CASLAV Brukner, *et al.* Entanglement purification for quantum communication[J]. *Nature*, 2001, **410**(11): 1067-1070.
- [6] BENNETT C H, SHOR P W. Quantum information theory [J]. *IEEE Trans Information Theory*, 1998, **44**(6): 2724-2742.
- [7] WOOTTERS W K, ZUREK W H. A single quantum cannot be cloned[J]. *Nature*, 1982, **299**(9): 802-803.
- [8] LIU D, PEI C X, QUAN D X, *et al.* A new quantum secure direct communication scheme with authentication[J]. *Chinese Physics Letters*, 2010, **27**(5): 306-308.
- [9] GOBBY C, YUAN Z L, SHIELDS A J. Quantum key distribution over 122 km of standard telecom fiber [J]. *Applied Physics Letters*, 2004, **84**(19): 3762-3764.
- [10] QUAN Dong-xiao, PEI Chang-xing, LIU Dan, *et al.* One-way deterministic secure quantum communication protocol based on single photon[J]. *Acta Physica Sinica*, 2010, **59**(4): 2493-2497.
- [11] 权东晓, 裴昌幸, 刘丹, 等. 基于单光子的单向量子安全通信协议[J]. 物理学报, 2010, **59**(4): 2493-2497.
- [11] ZHANG Tian-peng, NIE Min, PEI Chang-xing. Research on multi-particle entangled QTDM communication scheme and QMU protocol[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(4): 987-991.

张天鹏, 聂敏, 裴昌幸. 多粒子纠缠态 QTDM 通信方案及 QMU 协议[J]. 光子学报, 2009, **38**(4): 987-991.

The Handover Strategy of Quantum Mobile Signaling Based on Entanglement Degree Computing in Adjacent Cells and Simulation

WANG Zhi¹, NIE Min¹, LIU Xiao-hui^{1,2}

(1 School of Communication and Information Engineering, Xi'an University of Post and Telecommunication, Xi'an 710061, China)

(2 State Key Laboratory of ISN, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: Signaling is an important part to the communication system, as well as quantum mobile communication. However, the handover strategy to quantum mobile communication signaling in adjacent cells has been researched. Quantum entanglement is the basis of the future quantum mobile communication. With the change of the position of mobile users, the entanglement degree between users and base station changes constantly. A handover strategy based on entanglement degree calculation quantum signaling in adjacent cells is proposed. Firstly, the relationship between signaling entanglement degree and distance is defined. Secondly, changes of signaling entanglement degree in adjacent cells is studied due to the change of the position of users, and a handover algorithm based on the threshold value of entanglement degree is proposed. The simulation results show that the proposed signaling handover strategy can obtain high reliability and realize smooth handover between base stations. Therefore this research will play an extremely important technical support role and standards set in constructing the signaling system quantum mobile communication network.

Key words: Quantum mobile signaling; Handover; Entanglement degree calculation; Quantum entanglement