

## 可见光通信网络中遮挡情况下的垂直切换决策算法

郑浩天<sup>1</sup>, 季新生<sup>1,2</sup>, 黄开枝<sup>1</sup>

(1. 国家数字交换系统工程技术研究中心, 郑州 450002; 2. 东南大学移动通信国家重点实验室, 南京 210096)

**摘 要:** 在可见光通信网络中, 现有遮挡情况下的立即切换和继续等待 2 种切换决策都过于单一, 无法保证遮挡造成的信息传输延迟始终较小。为此, 提出一种基于径向基函数(RBF)模糊神经网络的垂直切换决策算法。对遮挡情况下的切换决策影响参数进行研究, 分析不同参数的获取方法。选择最重要的 3 种参数输入 RBF 模糊神经网络进行模糊推理, 根据输出的精确值进行切换决策。仿真结果表明, 该算法能够根据不同情况合理判决立即切换或继续等待, 保证遮挡造成的信息传输延迟始终较小, 且遮挡频繁时, 切换次数比立即切换减少约 50%, 有效避免了乒乓切换。

**关键词:** 可见光通信; 遮挡; 垂直切换; 传输延迟; 径向基函数; 模糊神经网络

**中文引用格式:** 郑浩天, 季新生, 黄开枝. 可见光通信网络中遮挡情况下的垂直切换决策算法[J]. 计算机工程, 2016, 42(5): 108-112.

**英文引用格式:** Zheng Haotian, Ji Xinsheng, Huang Kaizhi. Vertical Handover Decision-making Algorithm for Blockage Case in Visible Light Communication Network[J]. Computer Engineering, 2016, 42(5): 108-112.

### Vertical Handover Decision-making Algorithm for Blockage Case in Visible Light Communication Network

ZHENG Haotian<sup>1</sup>, JI Xinsheng<sup>1,2</sup>, HUANG Kaizhi<sup>1</sup>

(1. National Digital Switching System Engineering and Technological R & D Center, Zhengzhou 450002, China;

2. State Key Laboratory of Mobile Communication, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**[Abstract]** For the Visible Light Communication (VLC) network, existing handover decision-making algorithms for blockage case are too simple to ensure small transfer delay caused by blockage at all times. To solve the problem, this paper proposes a vertical handover decision-making algorithm based on Radial Basis Function (RBF) fuzzy neural network. The impact parameters of handover decision-making for blockage case are studied. The acquisition method of different parameters are analyzed. The three most important parameters are put into RBF fuzzy neural network for fuzzy reasoning and handover decision is made according to the exact output value. Simulation results show that the algorithm can make reasonable handover decisions, ensuring small transfer delay under different conditions and reducing about 50% handover times compared with immediate handover in the case of frequent blockage.

**[Key words]** Visible Light Communication (VLC); blockage; vertical handover; transfer delay; Radial Basis Function (RBF); fuzzy neural network

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2016.05.018

#### 1 概述

可见光通信 (Visible Light Communication, VLC) 技术<sup>[1]</sup> 由于其高带宽、高速率、布设方便、绿色健康的特点, 在近年来得到迅速发展, 成为未来室内无线通信的一种极具潜力的解决方案。然而 VLC 穿透性弱, 很容易受到移动人或物的遮挡影响<sup>[2]</sup>, 导

致无法正常通信, 造成终端未传输信息的传输延迟。为了减少遮挡影响, 使信息传输延迟尽可能小, 因此, 遮挡情况下的垂直切换决策成为研究重点。

目前, 已有的切换决策包括继续等待和立即切换 2 种。文献[3-4]中当检测到光链路被遮挡时, 终端判决继续等待直到遮挡消失, 光链路恢复, 再继续利用 VLC 网络传输剩余信息, 这种切换决策称为继

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(2013AA013603); 东南大学国家重点实验室基金资助项目(2013D09)。

作者简介: 郑浩天(1990-), 男, 硕士研究生, 主研方向为可见光通信; 季新生、黄开枝, 教授、博士生导师。

收稿日期: 2015-05-12 修回日期: 2015-06-08 E-mail: zhtvlc@163.com

续等待。文献[5]中当检测到遮挡时,终端判决立即进行垂直切换,利用无线电通信网络传输剩余信息,遮挡消失时再切换回 VLC 网络,这种切换决策称为立即切换。继续等待的优点是不需要执行切换,系统开销少。在遮挡持续时间较短、可见光通信速率远高于无线电通信速率、向无线电通信网络切换失败概率较大的情况下,判决继续等待,遮挡造成的信息传输延迟会更小。反之,判决立即切换,信息传输延迟会更小。故现有遮挡情况下的垂直切换决策过于单一,难以保证终端在不同情况下都能获得较小信息传输延迟。

文献[6-7]引入模糊神经网络用于垂直切换决策,模糊神经网络<sup>[8]</sup>是一种综合了模糊逻辑推理和神经网络的智能技术。研究表明,基于模糊神经网络的垂直切换决策算法具有很强的学习和适应能力,能够综合考虑不同因素变化对于切换决策的影响,判决准确性较一般算法有显著提升。然而现有基于模糊神经网络的垂直切换决策算法主要适用于无线电异构通信网络,多采用信号强度、可用带宽等作为模糊神经网络的输入参数,并不适用于可见光通信网络中遮挡情况下的垂直切换决策。

针对上述问题,本文提出一种可见光通信网络中遮挡情况下基于径向基函数(Radial Basis Function, RBF)模糊神经网络的垂直切换决策算法。本文对遮挡情况下的切换决策影响参数进行研究,分析不同参数的获取方法,选择最重要的 3 种参数输入 RBF 模糊神经网络进行模糊推理,根据输出结果在立即切换和继续等待之间做出合理切换决策。

## 2 遮挡情况下切换决策参数分析

当遮挡发生时,若正在进行信息传输,则该信息只有部分数据包被传输,剩下的数据包仍处于排队等待状态。如图 1 所示,当终端判决继续等待时,未传输信息的传输延迟由遮挡持续时间和 VLC 传输时延两部分组成。当终端判决立即切换时,传输延迟则由从 VLC 网络向无线电通信网络垂直切换的执行时延  $a$ 、从无线电通信网络向 VLC 网络垂直切换的执行时延  $b$ 、无线电通信传输时延和 VLC 传输时延组成。

下面对不同情况下的最优切换决策方案进行分析,最优切换决策方案是指在当前情况下使遮挡造成的未传输信息的传输延迟最小的切换决策方案。如图 1(a) 所示,在遮挡持续时间较长,无线电通信信道传输速率与 VLC 信道传输速率相差不多的情况下,此时立即切换到无线电通信网络,利用无线电通信传输未传输信息比继续等待直至遮挡消失的传输延迟要小。因此,这种情况下应当判决立即切换。

反之,如图 1(b) 所示,在遮挡持续时间较短、VLC 信道的传输速率比无线电通信信道传输速率大很多的情况下,此时等待一个较短的遮挡时延,继续利用 VLC 信道传输未传输信息,比立即切换到无线电通信网络的传输延迟要小。因此,这种情况下应当判决继续等待。

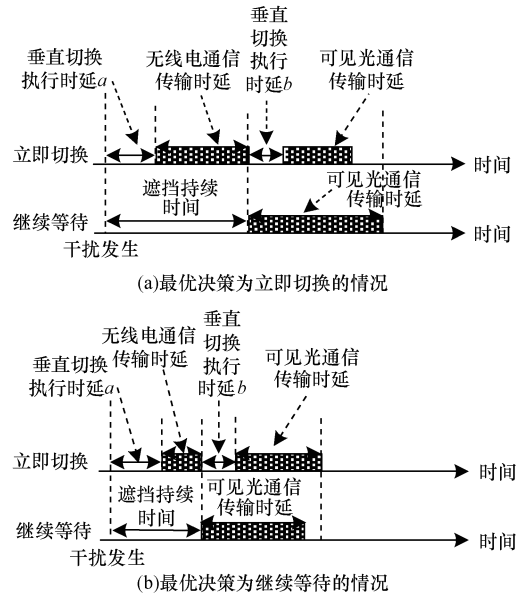


图 1 不同情况下最优切换决策分析

由前文分析可知,VLC 信道和无线电信道的传输速率、垂直切换的执行时延、遮挡持续时间均为切换决策的影响因素。假设遮挡持续时间为  $D_{\text{int}}$ ,未传输信息数据包大小为  $S$ ,  $R_{\text{Ra}}$  和  $R_{\text{VLC}}$  是无线电通信信道和 VLC 信道的传输速率,若不等式:

$$\frac{S - (D_{\text{int}} - a)R_{\text{Ra}}}{R_{\text{VLC}}} + b \geq \frac{S}{R_{\text{VLC}}} \quad (1)$$

成立,说明  $R_{\text{VLC}}/R_{\text{Ra}}$  较大,终端应当继续等待至遮挡消失。根据式(1),进一步可以得到:

$$D_{\text{threshold}} = a + b \cdot \frac{R_{\text{VLC}}}{R_{\text{Ra}}} \quad (2)$$

$$D_{\text{int}} \leq D_{\text{threshold}} \quad (3)$$

又遮挡干扰的持续时间  $D_{\text{int}}$  服从均值为  $\nu$ 、方差为  $\sigma$  的正太分布,故  $R_{\text{VLC}}/R_{\text{Ra}}$  较大的概率  $P_{\text{Large}}$  为:

$$P_{\text{Large}} = \int_0^{D_{\text{threshold}}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\nu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (4)$$

根据前文分析,可以将  $R_{\text{VLC}}, R_{\text{Ra}}, a, b, D_{\text{int}}$  5 个影响参数通过式(4)转换为一个新的切换决策影响参数—— $R_{\text{VLC}}/R_{\text{Ra}}$  较大的概率  $P_{\text{Large}}$ 。

此外,终端从 VLC 向无线电通信网络切换失败概率  $P_f$  和切换间隔时间  $T$  也是影响切换决策的重要参数。若无线电通信网络负载重,信道拥塞,则终端向无线电通信网络切换失败的概率  $P_f$  较高,而切

换失败会带来较大的延迟,故此时应当尽量减小判决立即切换的概率。切换时间间隔  $T$  表示切换判决时刻(本次干扰发生时刻)与前一次判决立即切换时刻的时间间隔<sup>[9]</sup>。单位时间内干扰次数越多,该时间间隔越小,终端进行切换判决时,判决立即切换的概率就越小,以防止频繁切换,避免影响用户体验和消耗终端资源。

### 3 遮挡情况下切换决策参数获取

在前文分析的 7 个影响切换判决的参数中, VLC 信道和无线电信道的传输速率  $R_{\text{VLC}}$  和  $R_{\text{Ra}}$  可被终端直接检测,切换间隔时间  $T$  可利用终端记录数据计算得到,垂直切换执行时延  $a$  和  $b$  的变化较小,在一定时间内可近似为定值。下面对遮挡持续时间  $D_{\text{int}}$  和终端从 VLC 向无线电通信网络切换失败概率  $P_f$  的获取方法进行分析。

遮挡持续时间  $D_{\text{int}}$  具有较大的随机性,但与终端所处的位置和时间具有一定的相关性。若遮挡持续时间  $D_{\text{int}}$  服从均值为  $\nu$ 、方差为  $\sigma$  的正太分布,则  $\nu$  和  $\sigma$  是位置和时间的函数,相邻时间和位置的  $\nu$  和  $\sigma$  的变化非常小,故某时刻终端受遮挡影响,遮挡持续时间  $D_{\text{int}}$  服从的正太分布函数的参数  $\nu$  和  $\sigma$  的值可以近似用前一段时间相邻位置的  $D_{\text{int}}$  统计值来表示。同一 VLC 热点覆盖范围内的每个终端检测到的遮挡持续时间  $D_{\text{int}}$  都会通过无线电通信,如 WiFi 上传并存储在系统服务器<sup>[10]</sup> 中,该 VLC 热点覆盖范围内一旦有终端发出请求,服务器会对存储的前一段时间该 VLC 热点的遮挡持续时间  $D_{\text{int}}$  的历史数据进行统计处理,并将得到的统计平均值  $\nu$  和  $\sigma$  反馈给终端。终端即认为当前发生遮挡的持续时间服从均值为  $\nu$ 、方差为  $\sigma$  的正太分布。同样,终端从 VLC 向无线电通信网络切换失败概率  $P_f$  为切换失败次数/切换总次数,也可通过服务器对历史数据进行统计得到。

## 4 基于 RBF 模糊神经网络的切换决策算法

### 4.1 RBF 模糊神经网络结构

第 2 节提出的 3 个切换决策参数:  $R_{\text{VLC}}/R_{\text{Ra}}$  较大的概率  $P_{\text{Large}}$ , 向无线电通信网络切换失败概率  $P_f$  和切换间隔时间  $T$  对切换决策的影响无法用数值直观衡量,属于模糊信息,所以本文考虑利用模糊神经网络对 3 个输入进行模糊逻辑推理,输出为精确数值,便于切换决策,同时利用神经网络的自适应自学习能力,对模糊神经网络参数进行训练,保证决策的准确性和对环境变化的适应性。

本文采用的基于 RBF 的模糊神经网络<sup>[11]</sup> 结构

简单,逼近能力强,其结构如图 2 所示。

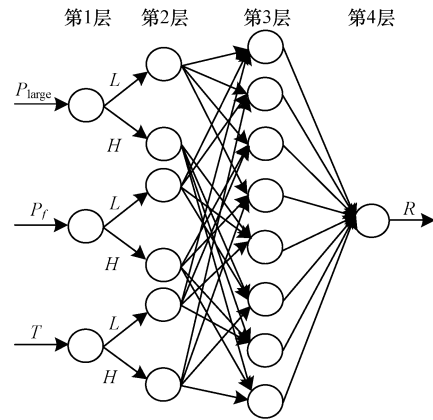


图 2 RBF 模糊神经网络结构

该模糊神经网络共有 4 层,下面对各层分别进行讨论:

(1) 第 1 层为输入层。根据文面分析,选择  $P_{\text{Large}}, P_f, T$  作为模糊神经网络的输入参数,另外 5 个因素  $R_{\text{VLC}}, R_{\text{Ra}}, a, b, D_{\text{int}}$  对切换决策的影响通过影响  $P_{\text{Large}}$  值来反映,不再作为模糊神经网络的直接输入,降低系统的复杂度。

(2) 第 2 层是模糊化层。该层节点的作用是对输入参数  $P_{\text{Large}}, P_f, T$  进行模糊处理,得到各输入信号的隶属度。 $P_{\text{Large}}$  的模糊集为  $\{L(\text{小}), H(\text{大})\}$ , 隶属度为  $\mu_{P_{\text{Large}}}(L, H)$ ;  $P_f$  的模糊集为  $\{L(\text{小}), H(\text{大})\}$ , 隶属度为  $\mu_{P_f}(L, H)$ ;  $\{L(\text{短}), H(\text{长})\}$  的模糊集为  $\{L(\text{短}), H(\text{长})\}$ , 隶属度为  $\mu_T(L, H)$ 。本文选择采用容易求导的钟形隶属度函数。

$$\mu_{ij}(x_i) = \exp\left(-\left(\frac{x_i - c_{ij}}{\sigma_{ij}^2}\right)^2\right) \quad (5)$$

其中,  $x_i, c_{ij}, \sigma_{ij}$  表示输入变量、隶属度函数中心、隶属度函数宽度,  $i = 1, 2, 3$  表示第  $i$  个输入参数,  $j = 1, 2$  表示第  $j$  个模糊集。

(3) 第 3 层是模糊规则层。该层节点的作用是利用 2 层输出的模糊化值进行模糊推理,模糊推理的核心是模糊规则,由于  $P_{\text{Large}}, P_f, T$  各具有 2 个模糊子集,模糊规则的总条数为  $2 \times 2 \times 2 = 8$ , 因此该层有 8 个节点。每个节点的规则适应度  $a_{mnl}$  ( $m = 1, 2$ ;  $n = 1, 2$ ;  $l = 1, 2$ ) 采用式(6)所示的极小运算得到。

$$a_{mnl} = \mu_{1m} \mu_{2n} \mu_{3l} \quad (6)$$

(4) 第 4 层是解模糊层。采用加权平均法计算模糊神经网络的输出  $R$ 。 $R$  的表达式为:

$$R = \frac{\sum_{m=1}^2 \sum_{n=1}^2 \sum_{l=1}^2 w_{mnl} a_{mnl}}{\sum_{m=1}^2 \sum_{n=1}^2 \sum_{l=1}^2 a_{mnl}} \quad (7)$$

其中,  $w_{mnl}$  为规则层与解模糊层之间的连接权值。

#### 4.2 学习训练过程

为了增强算法的适应性和准确性,需要对 RBF 模糊神经网络进行学习训练。设  $y(t)$  为实际得到的模糊神经网络输出,  $y^*$  为模糊神经网络的理想输出。则网络的输出误差为:

$$r(t) = y^* - y(t) \quad (8)$$

目标均方误差函数为:

$$E(t) = \frac{1}{2} r^2(t) = \frac{1}{2} (y^* - y(t))^2 \quad (9)$$

本文通过强化学习对模糊神经网络的网络参数进行反馈调整,以达到目标均方误差函数最小的目标。为了使训练过程更加平稳,减小震荡,采用附加动量项的负梯度下降法<sup>[12]</sup>对网络参数进行调整。调整方法如下所示。

隶属度函数中心  $c_{ij}$ :

$$c_{ij}(t+1) = c_{ij}(t) - \eta \frac{\partial E}{\partial c_{ij}} + a(c_{ij}(t) - c_{ij}(t-1)) \quad (10)$$

隶属度函数宽度  $\sigma_{ij}$ :

$$\sigma_{ij}(t+1) = \sigma_{ij}(t) - \eta \frac{\partial E}{\partial \sigma_{ij}} + a(\sigma_{ij}(t) - \sigma_{ij}(t-1)) \quad (11)$$

规则层与解模糊层之间的连接权值  $w_{mnl}$ :

$$w_{mnl}(t+1) = w_{mnl}(t) - \eta \frac{\partial E}{\partial w_{mnl}} + a(w_{mnl}(t) - w_{mnl}(t-1)) \quad (12)$$

其中,  $\eta$ ,  $a$  分别为学习因子和动量因子。采用上述方法对神经网络的网络参数进行训练,一直到均方误差小于预先设定的阈值后,才利用当前参数下的模糊神经网络进行垂直切换决策。

#### 4.3 切换决策

切换决策阶段根据模糊神经网络的输出参数  $R$  来判断是立即切换还是继续等待。判决方法为:若  $R \geq 0.5$ , 则判决继续等待直到遮挡消失,光链路恢复;否则,判决立即切换。

### 5 仿真实验结果与分析

本文参考文献[13]用遮挡造成的数据包的平均传输延迟和单位时间内垂直切换次数,作为衡量垂直切换决策优劣的性能指标,对本文提出的基于 RBF 模糊神经网络的垂直切换决策算法与两种基本切换决策方法进行仿真对比分析,其中本文算法采用的模糊神经网络已经过初始训练调整。

仿真参数的设置情况如下:无线电网络的 MAC 层采用 CSMA/CA 和 RTS/CTS 机制<sup>[14]</sup>,可见光通信网络的 MAC 层采用时隙 CSMA 机制<sup>[15]</sup>;信息的到达服从均值  $\lambda$  为 0.25 的独立泊松过程(单位为信

息数量每秒);信息的长度服从平均长度  $r^{-1}$  为  $\nu$  的几何分布(单位为数据包每信息);遮挡持续时间服从  $\nu = 1.0, \sigma = 0.5$  的正态分布;遮挡的发生服从均值为  $\lambda_l$  的泊松过程;  $P_r$  为向无线电通信网络切换失败概率;切换执行时延  $a$  和  $b$  分别为 0.4 s 和 0.1 s;固定包长 1 KB。

图 3 为  $P_r = 0.01, \lambda_l = 0.01$  (次/s) 的情况下,改变  $R_{VLC}/R_{Ra}$  时,数据包的平均传输延迟随  $R_{VLC}/R_{Ra}$  的变化情况,从图中可以看出,当  $R_{VLC}/R_{Ra}$  较小时,立即切换比继续等待能够获得更小的平均传输延迟,这是因为此时利用无线电通信信道传输信息产生的延迟和利用 VLC 信道时相差不多,立即切换到无线电通信网络,在遮挡时间内利用无线电通信网络传输部分未传输信息是最优选择;随着  $R_{VLC}/R_{Ra}$  的增大,信息在 VLC 信道的传输延迟越来越小,在遮挡时间内利用无线电通信网络传输部分未传输信息产生的效果并不明显,反而遮挡消失时切换回 VLC 网络会增加部分切换延迟,故此时继续等待是最优选择。本文提出的基于 RBF 模糊神经网络的垂直切换决策算法在不同  $R_{VLC}/R_{Ra}$  值时都有较小的信息传输延迟,因为算法考虑了  $P_{Large}$  参数,而  $R_{VLC}/R_{Ra}$  的变化会直接影响到  $P_{Large}$  值,进而影响到模糊神经网络的模糊逻辑推理结果,因此,算法可以根据  $R_{VLC}/R_{Ra}$  的变化给切换决策带来的影响自适应的调整决策结果。在  $R_{VLC}/R_{Ra}$  较小时,本文所提算法的平均传输延迟略大于立即切换的平均传输延迟,这是由于算法考虑了切换间隔时间参数,在切换间隔时间较小时,算法会降低判决立即切换的概率,因此,平均传输延迟会略大。

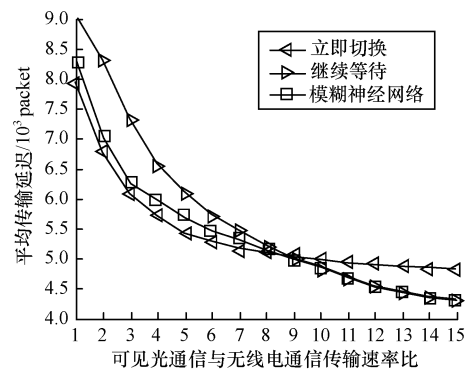


图 3 平均传输延迟随  $R_{VLC}/R_{Ra}$  变化的情况

图 4 为  $\lambda_l = 0.01$  (次/s),  $R_{VLC}/R_{Ra} = 5$  的情况下,改变向无线电通信网络切换失败概率  $P_f$  时的平均传输延迟随  $P_f$  的变化情况,从图中可以看出,随着  $P_f$  的逐渐增大,立即切换情况下的数据包平均传输延迟显著增大,而继续等待情况下的数据包平均传输延迟几乎不受影响,这是因为切换失败情况下会产生额外延迟,而基于 RBF 模糊神经网络的垂直切换决策算法由于考虑了  $P_f$  的影响,在不同切换失败概率下都能够获得较小的传输延迟。

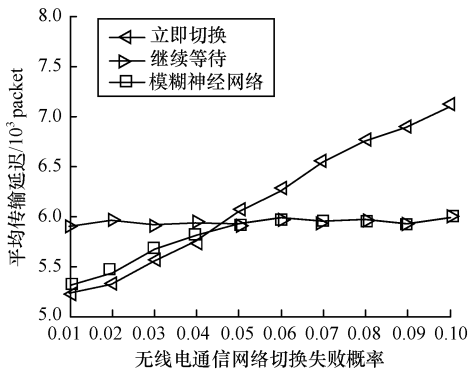


图4 平均传输延迟随切换失败概率变化的情况

图5为 $P_r = 0.01$ ,  $R_{VLC}/R_{Ra} = 5$ 的情况下,改变平均遮挡次数 $\lambda_l$ 时平均切换次数随 $\lambda_l$ 的变化情况,可以看出在 $\lambda_l$ 增加的情况下,继续等待的平均切换次数恒为0,立即切换的平均切换次数随 $\lambda_l$ 线性增加,基于RBF模糊神经网络的垂直切换决策算法的平均切换次数随 $\lambda_l$ 缓慢增加,平均切换次数比立即切换减少了约50%,这是由于立即切换决策方案没有考虑遮挡发生频率较高时过多的切换次数对于用户体验和终端资源消耗的影响,而本文提出的垂直切换决策算法额外考虑了切换间隔时间参数,当切换间隔时间较小时,模糊推理会相应降低判决立即切换的概率,避免遮挡频繁时出现乒乓切换,增强算法对于环境变化的适应性。

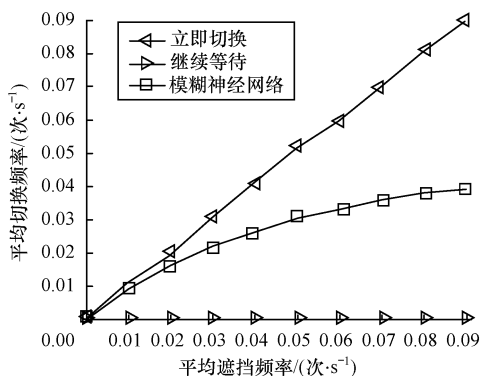


图5 平均切换次数随平均遮挡次数变化的情况

## 6 结束语

本文提出一种可见光通信网络中遮挡情况下基于RBF模糊神经网络的垂直切换决策算法,解决了现有切换决策方法过于单一、适应性不强、无法保证终端始终获得较小传输延迟的问题。算法综合考虑 $R_{VLC}/R_{Ra}$ 较大的概率 $P_{Large}$ ,向无线电通信网络切换失败概率 $P_f$ 和切换间隔时间 $T$ 3种切换决策影响参数,输入RBF模糊神经网络进行模糊推理,根据输出的精确值进行最终切换决策。仿真结果表明,该算法在不同情况下都能做出合理切换决策,保证较小平均传输延迟,准确性和适应性都有明显提升,此

外,当遮挡频繁时,还能有效减少切换次数,避免乒乓切换。下一步工作将采用合适的智能优化算法对模糊神经网络进行优化,进一步提高判决准确性。

## 参考文献

- [1] Elgala H, Mesleh R, Haas H. Indoor Optical Wireless Communication; Potential and State-of-the-art [J]. IEEE Communications Magazine, 2011, 49(9): 56-62.
- [2] Jivkova S, Kavehrad M. Shadowing and Blockage in Indoor Optical Wireless Communications [C]// Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference. San Francisco, USA: IEEE Press, 2003: 3269-3273.
- [3] Hou J, O'Brien D C. Polling Scheme for Indoor LOS Optical Wireless LAN [J]. Electronics Letters, 2003, 39(10): 794-795.
- [4] Kim Woo-chan, Bae Chi-sung, Jeon Soo-yong, et al. Efficient Resource Allocation for Rapid Link Recovery and Visibility in Visible-light Local Area Networks [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2010, 56(2): 524-531.
- [5] Rahaim M B, Vegni A M, Little T D C. A Hybrid Radio Frequency and Broadcast Visible Light Communication System [C]// Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Optical Wireless Communications. Houston, USA: IEEE Press, 2011: 792-796.
- [6] 夏玮玮, 沈连丰. 一种基于模糊神经网络的异构网络选择算法 [J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2010, 40(4): 663-669.
- [7] Giupponi L, Agusti R, Perez R J, et al. Fuzzy Neural Control for Economic-driven Radio Resource Management in Beyond 3G Networks [J]. IEEE Transactions on Systems, 2009, 39(2): 170-189.
- [8] 何春梅. 模糊神经网络的性能及其学习算法研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2010.
- [9] Kim Taehoon, Han Sang-wook, Han Youngnam. A QoS-aware Vertical Handoff Algorithm Based on Service History Information [J]. IEEE Communications Letters, 2010, 14(6): 527-529.
- [10] Xu Bao, Zhu Xiaorong, Song Tiecheng, et al. Protocol Design and Capacity Analysis in Hybrid Network of Visible Light Communication and OFDMA System [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2014, 63(4): 1770-1778.
- [11] 罗秋敏. 基于模糊神经网络的模糊规则获取方法 [D]. 大连: 大连交通大学, 2004.
- [12] 黄志辉. 神经网络优化算法研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2009.
- [13] Hou Jindong, O'Brien D C. Vertical Handover Decision-making Algorithm Using Fuzzy Logic for the Integrated Radio-and-OW System [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2006, 5(1): 176-185.
- [14] Bianchi G. Performance Analysis of the IEEE802.11 Distributed Coordination Function [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(3): 535-547.
- [15] Musa A, Baba M D, Mohd H. Performance Analysis of the IEEE 802.15.7 CSMA/CA Algorithm Based on Discrete Time Markov Chain [C]// Proceedings of the 11th IEEE Malaysia International Conference on Communications. Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE Press, 2013: 385-389.