

基于终端移动状态的 LGD 触发算法

张汝云, 王玉红, 黄开枝, 季新生

(国家数字交换系统工程技术研究中心, 郑州 450002)

摘 要: 针对垂直切换中 LMS 预测 LGD 触发机制没有考虑终端移动状态的问题, 提出基于终端移动状态的 LGD 触发算法, 由终端移动模型推导出移动状态(速度和方向)与信号强度的关系, 并将信号强度推导值与抽样值加权求和后采用 LMS 算法预测信号强度的变化趋势。仿真表明, 改进后的 LMS 算法预测误差小, 可以降低丢包率和空闲时间。

关键词: LGD 触发; 切换代价; 终端移动模型; LMS 预测机制

Terminal Moving State-based Link-Going-Down Trigger Algorithm

ZHANG Ru-yun, WANG Yu-hong, HUANG Kai-zhi, JI Xin-sheng

(National Digital Switching System Engineering Technological Research Center, Zhengzhou 450002, China)

【Abstract】 Timely firing of Link-Going-Down(LGD) trigger is critical to handover performance and is significant in determining whether the handover completes successfully. This paper proposes the terminal moving state-based LGD trigger algorithm. It calculates the received signal power from the terminal moving model, and puts it as part of the predictive process. Simulation results show that the proposed algorithm can significantly decrease packet lost and the time between handover finishing and link down.

【Key words】 Link-Going-Down(LGD) trigger; handover cost; terminal moving model; Least Mean Square(LMS) predictive scheme

1 概述

有效的 MAC 层链路触发机制对切换的成败有着至关重要的作用。链路即将中断(Link-Going-Down, LGD)预示当前链路在未来将不能使用, 需要切换到另外的网络。

目前有多种 LGD 触发的方法, 固定门限比较法^[1-3]是采用固定门限值作为链路触发的条件, 由于无线信道条件、终端的移动速度和方向、通信流量、网络类型等众多时变因素的影响, 很难事先确定固定门限值。基于最小均方误差(Least Mean Square, LMS)的预测机制^[4]是根据邻居网络信息来估计网络切换可能时间, 然后确定预测器的阶数 k_h , 通过预测 k_h 阶的信号强度来判断是否需要进行 LGD 触发。这种机制虽然可以有效降低 LGD 触发的代价, 但存在 2 个假设前提: 接收信号强度单调性变化; 终端移动速度线性变化, 且移动方向恒定, 这 2 个假设条件使得 LMS 算法应用受到限制。

本文提出基于终端移动状态的 LGD 触发网络切换算法。该算法首先选择能够描述终端真实移动状态(速度和方向)的移动模型; 其次推导出移动状态与接收信号强度 $p_r(d)$ 之间的关系, 并将接收信号强度的推导值与抽样值共同作为预测机制的先知信息; 最后按照 LMS 算法对接收的信号强度进行预测, 一旦第 $(n+k_h)$ 阶的接收信号强度 $\hat{p}(n+k_h) < P_{r-\min}$, 则产生 LGD 触发。仿真结果显示, 基于移动状态的 LGD 触发机制能够较大程度上缩小预测误差, 从而进一步降低丢包率和空闲时间(切换完成时刻到链路下降时刻的时间)。

2 基于终端移动状态的 LGD 触发切换算法

LGD 触发对网络切换的性能有较大的影响。如果 LGD 触发太早, 在当前网络链路仍然可用的情况下切换到其他的网络, 则会使空闲时间过长, 失去原接入系统的优越性; 如果 LGD 触发得太晚, 在当前链路中断之前终端来不及切换到

其他的网络, 则会造成数据包丢失或者延迟, 整个 LGD 算法的流程如图 1 所示。

LGD 触发机制主要包括 3 个部分: (1)切换初始触发。它为网络切换设置了一个初始点, 避免终端一直做一些不必要的重复工作(如网络发现), 节约终端电能。(2)预测开始触发。终端根据网络发现的结果估计网络切换可能时间, 设置预测触发的时间点。预测开始触发主要是为了节约终端的计算资源。(3)LGD 触发。预测开始触发之后, 终端根据本文提出的基于移动状态的 LMS 算法进行预测, 如果预测的某一时间点的信号强度低于预定义的的门限值, 则发生 LGD 触发。切换初始触发与预测开始触发都是为 LGD 触发服务的。

P_{LGD} 触发判决: 文献[5]综合评价了各种终端移动模型, 得到 Gauss-Markov 移动模型最能够表述终端的真实移动特性。该模型通过一个调整参数来表示不同级别的随机性, 为移动节点指定初始的速度和方向, 并以固定的时间间隔更新移动节点的移动速度和方向。第 n 个时间点的速度和方向是基于第 $n-1$ 个时间点的速度和方向计算得到的, 如下式所示:

$$\begin{aligned} v_n &= \alpha v_{n-1} + (1-\alpha) \bar{v} + \sqrt{(1-\alpha^2)} v_{x_{n-1}} \\ \theta_n &= \alpha \theta_{n-1} + (1-\alpha) \bar{\theta} + \sqrt{(1-\alpha^2)} \theta_{x_{n-1}} \end{aligned} \quad (1)$$

其中, v_n 和 θ_n 表示第 n 个时间点的速度和方向; $\alpha \in [0, 1]$ 是改变随机程度的调整参数; \bar{v} 和 $\bar{\theta}$ 是表示速度和方向均值的常数; $v_{x_{n-1}}$ 和 $\theta_{x_{n-1}}$ 是服从 Gaussian 分布的随机变量。

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(2007AA01Z434, 2008AA011001)

作者简介: 张汝云(1973 -), 男, 讲师, 主研方向: 移动通信; 王玉红, 硕士; 黄开枝, 副教授; 季新生, 教授

收稿日期: 2010-04-30 **E-mail:** niutong0072@gmail.com.cn

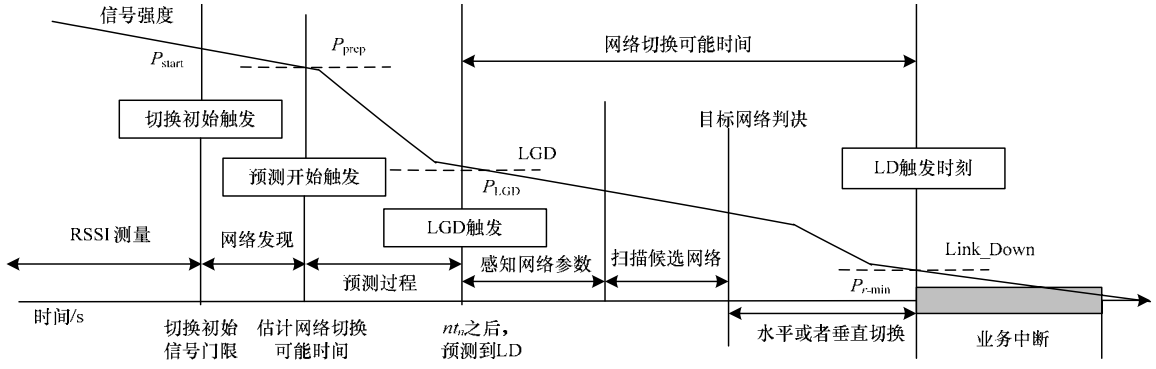


图1 LGD 触发网络切换步骤

根据 Gauss-Markov 移动模型和初始的移动信息,终端可以预测出未来的移动轨迹。根据每个时间点的速度和方向与路径损耗模型可以推导出第 n 个时间点终端与 AP/BS 之间的距离 d_n 。图2显示的是终端的移动情况,以下为推导过程。

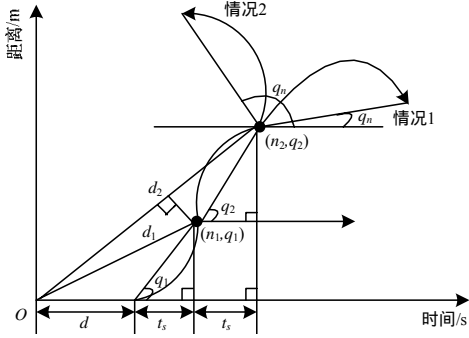


图2 终端移动模型

假设条件:假设 Gauss-Markov 移动模型每 2 个时间点之间的时间间隔相同,即 $t_n - t_{n-1} = t_s, n > 0$ 且 $n \in N$ 。

设初始时终端由与 AP/BS 相距为 d m,开始根据 Gauss-Markov 移动模型对终端的移动状态进行预测。终端经过 t_s 时间到达一个位置,此时的移动速度 v_1 和 θ_1 可以根据式(2)求出。

(1)求 (v_1, θ_1) 时的距离 d_1

在较短时间 t_s 内,终端移动的弧线近似可以用直线表示,而且在这段时间内的移动速度可以采用 2 个端点速度的均值。若 $0 < \theta_1 < \frac{\pi}{2}$, 则:

$$d_1 = \sqrt{\left[d + \frac{(v_0 + v_1)t_s}{2} \cos \theta_1 \right]^2 + \left[\frac{(v_0 + v_1)t_s}{2} \sin \theta_1 \right]^2} \quad (2)$$

(2)求 (v_2, θ_2) 时的距离 d_2 , 若 $0 < \theta_2 < \frac{\pi}{2}$, 则:

$$d_2 = \sqrt{\left[d + \frac{(v_0 + v_1)t_s}{2} \cos \theta_1 + \frac{(v_1 + v_2)t_s}{2} \cos \theta_2 \right]^2 + \left[\frac{(v_0 + v_1)t_s}{2} \sin \theta_1 + \frac{(v_1 + v_2)t_s}{2} \sin \theta_2 \right]^2} \quad (3)$$

同样地,以此类推,如果 $0 < \theta_n < \frac{\pi}{2}$, 可以推导出:

$$d_n = \sqrt{\left[d + \frac{(v_0 + v_1)t_s}{2} \cos \theta_1 + \frac{(v_1 + v_2)t_s}{2} \cos \theta_2 + \dots + \frac{(v_{n-1} + v_n)t_s}{2} \cos \theta_n \right]^2 + \left[\frac{(v_0 + v_1)t_s}{2} \sin \theta_1 + \frac{(v_1 + v_2)t_s}{2} \sin \theta_2 + \dots + \frac{(v_{n-1} + v_n)t_s}{2} \sin \theta_n \right]^2} \quad (4)$$

如果 $\frac{\pi}{2} < \theta_1 < \pi$, 也可推导出:

$$d_1 = \sqrt{\left[d - \frac{(v_0 + v_1)t_s}{2} \cos(\pi - \theta_1) \right]^2 + \left[\frac{(v_0 + v_1)t_s}{2} \sin(\pi - \theta_1) \right]^2} = \sqrt{\left[d + \frac{(v_0 + v_1)t_s}{2} \cos \theta_1 \right]^2 + \left[\frac{(v_0 + v_1)t_s}{2} \sin \theta_1 \right]^2} \quad (5)$$

以此类推,在 $0 < \theta < 2\pi$ 的情况下,终端与 AP/BS 之间的距离可以采用下式的 d_n 求解表达式:

$$d_n = \sqrt{\left[d + \frac{(v_0 + v_1)t_s}{2} \cos \theta_1 + \frac{(v_1 + v_2)t_s}{2} \cos \theta_2 + \dots + \frac{(v_{n-1} + v_n)t_s}{2} \cos \theta_n \right]^2 + \left[\frac{(v_0 + v_1)t_s}{2} \sin \theta_1 + \frac{(v_1 + v_2)t_s}{2} \sin \theta_2 + \dots + \frac{(v_{n-1} + v_n)t_s}{2} \sin \theta_n \right]^2} \quad (6)$$

根据 Fritz 路径衰减模型: $\left[\frac{p_r(d)}{p_r(d_0)} \right]_{dB} = -10\beta \left(\frac{d}{d_0} \right)$, 其中,

$p_r(d)$ 是接收信号强度; β 为衰减指数; d 为终端与基站之间的距离; $p_r(d_0)$ 是参考距离 d_0 对应的接收信号强度, $p_r(d_0)$ 可以通过自由空间传播模型获得。

求解的第 n 个时间点的接收信号强度如下式所示:

$$p_{r-mobile}(d_n) = p_r(d_0) \left(\frac{d_n}{d_0} \right)^{-\beta} \quad (7)$$

通过终端移动模型预测出每个时间点的接收信号强度,然后将其作为预测过程中的先知信息,对终端的接收信号强度进行 LMS 预测,其预测过程如式(8)~式(10)所示:

$$\hat{p}(n+k_h) = \sum_{i=0}^{q-1} \omega_n(i) [\varepsilon p_{r-LMS}(n-i) + (1-\varepsilon) p_{r-mobile}(n-i)] = \mathbf{W}_n^T \mathbf{P}(n)^T \quad (8)$$

$$\mathbf{W}_n = [\omega_n(0), \omega_n(1), \dots, \omega_n(q-1)] \quad (9)$$

$$\begin{cases} \mathbf{W}_{n+1} = \mathbf{W}_n + \mu \times e(n) \frac{\mathbf{P}(n)}{\|\mathbf{P}(n)\|^2} \\ e(n) = \hat{p}(n+k_h) - p(n+k_h) \approx e(n) = \hat{p}(n) - p(n) \end{cases} \quad (10)$$

其中, ε 表示权重,其大小表示了抽样信号强度对预测值 $\hat{p}(n+k_h)$ 的贡献; μ 用来控制预测过程的收敛速度,对于标准的 LMS 预测来说, $0 < \mu < 2$, 在本文中, μ 取定值。

如果预测的 $\hat{p}(n+k_h) < P_{min}$, 则触发 LGD。

该方法的主要特点是在基于 LMS 的预测过程中将由终端移动模型求出的信号强度作为预测的影响因子,从而可以得出更准确的 LGD 触发时刻,而且在一定程度上消除了 LMS 使用的局限性(LMS 只适合接收信号强度单调线形下降情况)。

3 仿真与结果分析

3.1 仿真环境

仿真中采用由 GSM/GPRS 系统和基于 IEEE802.11b 的 WLAN 共同组成的异构无线网络, MT 具有 2 个网络接口: GPRS 采用类 10 标准(26.8 Kb/s 的上行传输速率和 53.6 Kb/s 的下行传输速率)。为了与基于 LMS 预测的 LGD 触发机制进行比较,本文采用其提出的所有参数和仿真拓扑环境。仿真环境如图 3 所示,表 1 为仿真中用到的全部参数。

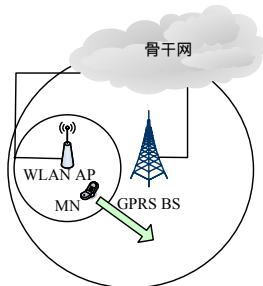


图 3 仿真环境

表 1 仿真参数

参数	数值	参数	数值
P_{Tx}, G_t	50 mW, 100 mW	t_h	25 s, 50 s
G_r	1	P_{min}	3.162×10^{-11} W
λ_s, λ_r	0.124 m, 0.158 m	μ	0.05
L	1	P	7
d_0	1 m	α	1.5
β	3 dB~4 dB	Δt	1 s
v	1 m/s~4 m/s		

3.2 结果分析

本文从 3 个方面对算法进行仿真分析: 预测误差, 丢包率和空闲时间。

(1) 预测误差

$PredError_{dB}$ 表示的是从预测触发时的抽样点到 LD 抽样点的平均预测误差。其计算模型如下式所示:

$$PredError_{dB} = \left(\sum_{i=n_p}^{n_d} \left[\frac{p_r(i)}{\hat{P}_r(i)} \right]_{dB} \right) / (n_d - n_p) \quad (11)$$

其中, $p_r(i)$ 和 $\hat{P}_r(i)$ 分别表示实际信号强度和估计的信号强度; n_p 和 n_d 分别表示的是预测触发时的抽样序列数和 LD 下降时的抽样序列数。

为了评价本文提出的 LGD 触发机制, 路径损耗指数 β 、终端移动速度 v 和方向 θ 都是时刻变化的, 其中, 假定路径损耗指数在仿真时间(10 s)呈线性上升或下降, $\varepsilon = 0.5$ 。表 2 显示的是预测的平均误差, 其中, M-LMS 表示基于终端移动状态的 LGD 触发机制。

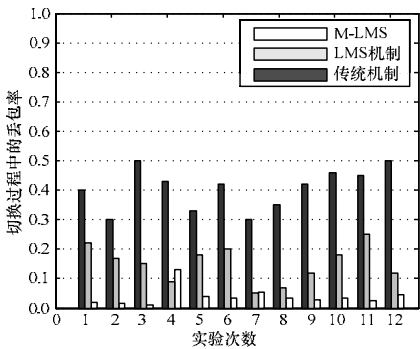
由表 2 可见, 本文提出的基于终端 LGD 触发机制的预测误差基本可以控制在 0.10 之内。

表 2 不同条件下的预测误差

β_{start}	β_{final}	$v_{start}/(m \cdot s^{-1})$	θ_{start}	t_h	LMS	M-LMS
3	4	1	0	25	0.169 7	0.037 6
3	4	1	0	50	0.205 3	0.053 1
4	3	4	0	25	0.109 2	0.019 1
4	3	4	0	50	0.302 6	0.079 5

(2) 丢包率

为得到切换过程中的丢包率, 在接受信号强度上加入了高斯噪声。在图 4 中显示的是映射式的丢包率, 其中高斯噪声的方差为 $\sigma = 2$ 。CBR 流量发生器产生的速率是每 10 ms 产生 200 Byte 的数据包。



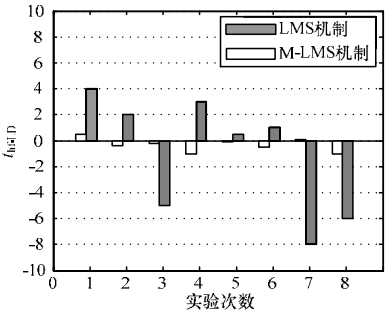
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
β_{start}	3.5	3.5	3.5	3.5	3.0	3.0	4.0	4.0	3.0	3.0	4.0	4.0
β_{final}	3.5	3.5	3.5	3.5	4.0	4.0	3.0	3.0	4.0	4.0	3.0	3.0
$v_{start}/(m \cdot s^{-1})$	1	1	4	4	2.5	2.5	2.5	2.5	1.0	1.0	4.0	4.0
$v_{final}/(m \cdot s^{-1})$	4	4	1	1	2.5	2.5	2.5	2.5	4.0	4.0	1.0	1.0
t_h	25	50	25	50	25	50	25	50	25	50	25	50

图 4 切换过程中的丢包率

由图 4 中可以看出, 考虑终端移动状态的网络丢包率相比基于 LMS 和传统机制的 LGD 触发机制, 有一定的改善。这种改善比较明显之处在于在考虑终端移动状态之后, 终端可以根据终端移动方向和速度的变化(非单调)调整 LMS 预测的准确度, 使得 LMS 预测机制可以根据信号的衰落程度自适应地跟踪, 从而避免 LMS 预测造成 LGD 触发过晚的情况。

(3) 空闲时间

一般情况下, 空闲时间 t_{hf-LG} (表示切换完成时刻与链路下降时刻的差值)能够衡量 LGD 触发太早的情况下的代价。 t_{hf-LG} 越大, 说明 LGD 触发就越早。因此, 本文主要是观测不同条件下的 t_{hf-LG} 时间。图 5 表示的是不同条件下 LMS 预测机制和本文提出的基于终端移动状态的 LGD 触发机制下的 t_{hf-LG} 时间。



	1	2	3	4	5	6	7	8
β_{start}	3	3	4	4	3.5	3.5	3	4
β_{final}	4	4	3	3	3.5	3.5	4	3
$v_{start}/(m \cdot s^{-1})$	1	4	1	4	1	4	1	1
θ_{start}	0	0	$\pi/4$	$\pi/4$	0	$3\pi/4$	0	0
t_h	25	25	50	50	25	25	25	50

图 5 不同条件下 2 种 LGD 触发机制的 t_{hf-LG} 时间

由图 5 可以看到, 本文提出的 LGD 触发机制下 t_{hf-LG} 相对来说浮动较小, 这是由于改进后的 LMS 预测更能够跟踪链路变化情况。

4 结束语

终端移动速率和方向的改变, 将会影响接收信号强度的大小。基于此, 本文分析了终端移动状态与接收信号强度之间的关系, 提出了基于终端移动状态的 LGD 触发算法。该算法根据移动模型推导出终端与基站之间的距离, 并通过路径