一种可容错的覆盖网节点合作激励策略

王 锐[1],朱青林[1],钱德沛[1,2],刘 涛[2]
(1.北京航空航天大学计算机学院,北京 100191;
2.西安交通大学电子与信息工程学院,陕西西安 710049)

摘 要: 为了促进覆盖网节点之间的合作,以任意相邻的两个节点为博弈参与者,用纯策略博弈建立了问题模型,证明了静止状态下的节点相互转发博弈是典型的囚徒困境,以及在无限重复囚徒困境博弈情况下,基于针锋相对策略的合作均衡是脆弱的,偶然的网络故障会引发惩罚行为,从而导致节点间的不合作.提出一种可容错的针锋相对策略TTFT(Tolerant Tit-for-tat),使节点能够在一定时间内容忍网络故障的发生.证明了使用该策略可以在发生网络故障的情况下,在有限时间内使节点达到稳定的合作状态,并证明了作弊节点的收益增量相对较低,能够有效降低节点作弊的可能性.模拟试验表明,在多个节点交互的环境下,该策略可以容忍一定比率的故障,促进节点合作,显著提高全体节点的收益总额,并可以降低作弊节点的收益,有效防止作弊.

关键词: 覆盖网;节点合作;无限重复博弈;针锋相对策略;容错
中图分类号: TP311 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2010)02-0327-06

A Fault-Tolerant Cooperation Incentive Strategy for Overlay Network Nodes

WANG Rui[1],ZHU Qing-lin[1],QIAN De-pei[1,2],LIU Tao[2]
(1. *School of Computer Science and Engineering*, *Beihang University*, *Beijing* 100191, *China*;
2. *School of Electronics and Information Engineering*, *Xi'an Jiaotong University*, *Xi'an*, *Shaanxi* 710049, *China*)

Abstract: Aiming at improving the cooperation of nodes in overlay networks, a novel incentive strategy which is used in the packet forwarding game between two neighboring nodes is proposed. An infinitely iterated game model is established to promote the cooperation. We proof that the cooperative equilibrium based on Tit-for-tat strategy is vulnerable in the realistic network environment. A fault Tolerant Tit-for-tat (TTFT) strategy is proposed to cope with the network failure. We proof that this strategy can maintain cooperation in case of network failure. Cheating towards this strategy can get few extra payoffs so that there is little motivation to cheat. The simulation shows that 1) the TTFT strategy can maintain the cooperation and significantly improve the overall payoff when unexpected network failure occurs; 2) the TTFT can keep the payoff of cheating nodes in a relatively low level so that it can effectively avoid cheating.

Key words: overlay network; nodes cooperation; infinitely iterated game; tit-for-tat; fault-tolerance

1 引言

覆盖网是应对现有网络基础设施更新缓慢和网络应用发展迅速之间矛盾的一种重要解决方案,其特点是利用终端主机提供目前IP网络所无法提供的更多样的路由选择、更高效的控制以及服务质量部署等功能.覆盖网络的应用目前涵盖了P2P文件共享、实时音视频传输等多个领域[1],这些应用的一个基本特征是,网络中的普通节点相互协作,从而减轻中心服务器负载,提高带宽利用率.这类系统运转的前提是网络节点间保持良好的合作.如何促进节点合作,并防止作弊节点的干扰,是覆盖网应用的一个重要问题.

基于博弈理论研究覆盖网节点合作的激励机制已经成为大多数研究者的共识.这方面的研究主要有以下几种类型:文献[2]是从给节点提供的资源定价的方式来促进节点合作,从而促使整个网络价值最大化.文献[3]是从服务区分的角度来激励节点合作,根据每个节点提供的资源情况来评定它应该享受的服务等级.文献[4]从声誉的角度,激励节点提供更多更好的服务,以赢得更高的声誉,从而在未来获得良好的服务.文献[5]提

收稿日期:2008-12-26;修回日期:2009-08-13
基金项目:国家自然科学基金(No.60673180);国家863高技术研究发展计划(No.2006AA01A106,2006AA01A118,No.2009AA01Z144,No.2009AA01A131)

出了一种基于无限竞拍博弈的方法,每个节点贡献出来的上行带宽根据几个竞争节点的竞拍结果来分配.

但是上述的研究普遍假设网络是无故障的,如果网络故障引起了传输失败,就会使相应节点误判为对方不合作,从而导致参与传输的节点间的相互惩罚行为,引起网络的整体性能急剧下降.所以,需要研究一种能够容忍随机网络故障的机制,才能使促进节点合作的研究结果应用于真实网络环境.

在博弈理论研究中,将这种博弈中的意外错误称之为噪音(Noise).在有噪音的环境下保持博弈者的合作不受破坏,主要有以下几种途径:

使节点更加慷慨的 GTFT 策略[6],会在一定时间内,无论对方采取什么样的行为,都选择合作行为.

具有悔悟(Contrition)能力的 CTFT 策略[7],有悔过,满意,激怒三个状态.需要节点了解一定的全局信息.

相机行事的赢停,输动(Win-Stay,Lost-Shift)策略[8].只要采取这种策略的节点在上一次博弈中没有成为受害者,那么它就会一直采取合作行为.

本文从改善合作策略的角度,提出一种有一定容错能力的策略,使网络中的节点在发生网络故障后,仍然能够达成合作.这种方法属于 GTFT 的一种,与典型 GTFT 的区别是:首先,本文策略中,初始的无条件合作阶段的长度是根据收益情况以及贴现率,出于降低作弊收益的目的计算得出;其次,针锋相对的时间长度是根据对方的行为而调整的.

2 覆盖网节点转发模型

我们以任意两个相邻节点为研究对象,因为如果一个网络中任意两个相邻节点都呈现合作状态,网络整体就会呈现合作状态.

2.1 静态模型

对网络中任意一组相邻的节点对(u,v),每个节点都有一定数据需要对方转发,也要为对方转发一定的数据.我们首先对博弈过程做以下基本假设:

(1)整个过程中,时间被划分成多个相等的时隙,并且网络的连接性与路由在每个时隙内不会改变;

(2)每个时隙的时间远大于一次完整的数据传输所需要的时间;

(3)每个时隙内每个节点向它的每个相邻节点发送相等流量的数据,流量以 x 表示,单位为 bps.

在任意节点对中,将每个节点的收益函数表示为

$$\pi_i = T(x) - F(x) \tag{1}$$

其中 $T(x)$代表该节点发出的流量大小为 x 的数据被对方成功转发所得到的收益,$-F(x)$代表该节点为对方转发流量为 x 的数据得到的收益,由于节点为对方转发数据需要付出一定的代价,所以该收益为负值.这其中 $F(x)$和 $T(x)$正定,而且 $F(x)$远小于$T(x)$.

用 $a_i(t)$表示节点 i 在第 t 个时隙采取的行为,$A=\{C,D\}$表示每个节点的行为集合,其中 C 代表为对方转发数据,D 代表拒绝转发.不难看出,在单个时隙的静止状态中,这是一个典型的囚徒困境博弈,其纳什均衡为(D,D),如图 1 所示(图中 $F(x)$和 $T(x)$分别简写为 F 和 T).

u \ v	C	D
C	(T-F,T-F)	(-F,T)
D	(T,-F)	(0,0)

Payoff:(u,v)

图1 节点转发的囚徒困境博弈

2.2 重复囚徒困境博弈模型

为了摆脱这种情况,引入无限重复博弈模型,使节点未来的收益与当前的行为相关.

在这种模型中,博弈进行的期限是无穷的,也就是说,在任意一个时隙,博弈结束的概率为 0.假设贴现因子为 $\delta,0\leqslant\delta\leqslant1$,$\pi_j$ 表示第 j 个时隙节点的收益函数,那么节点在前 k 时隙的累计收益为

$$\Theta(\infty)=\sum_{j=k}^{\infty}\pi_j\delta^{j-1} \tag{2}$$

此时节点必须考虑到当前行为对未来收益的影响.如果当前实施的自私行为会招致惩罚,使未来收益的损失大于短期收益,那么就会考虑放弃自私行为,转而选择合作.

虽然在覆盖网络中,节点的生命周期一般是有限的,但是由于节点往往无法预知博弈何时结束,所以这种无限博弈模型也是适用的.

在无限重复博弈模型中,很多研究采用了对自私行为进行严厉惩罚的策略来促进合作,其中最有效的是严格的针锋相对策略[9].针锋相对策略即:(1)第一时隙选择合作;(2)第 n 个时隙选择对方第$n-1$ 时隙的行为.无名氏定理以及很多研究都说明了在无限重复博弈中,只要贴现因子足够大,针锋相对策略可以导致节点间的合作.文献[10]等即是基于这个结论开展的研究.

但是,这些关于针锋相对策略的研究在应用于网络环境时都基于一个基本假设:网络的丢包完全是因为节点不合作引起的,而且每个节点都能准确及时的发现节点的不合作行为.考虑到实际的网络状况,意外的丢包完全有可能发生,在严格针锋相对策略的场景下,网络中的其它节点会将这种丢包情况判断为节点的不合作,从而引发惩罚行为.

2.3 基于惩罚的合作均衡的脆弱性

命题 1:在实行针锋相对策略的两节点转发博弈中,如果此前两节点都采取合作行为,并且在某个时隙 t,其中一个节点发生故障,那么从第 $t+1$ 时隙开始,节点的合作行为与不合作行为交替发生.

证明:假设两点(u,v)中,v 发生故障.在故障前的第 $t-1$ 时隙,两个节点的行为是 $a_u(t-1)=C$,$a_v(t-1)=C$,那么在第 t 时隙,u 的行为是 $a_u(t)=a_v(t-1)=C$,v 由于发生了故障,在 u 看起来,$a_v(t)=D$.所以此后两个节点的行为都采取对方上一时隙的行为,合作与不合作交替出现.　　证毕.

命题 2:在实行针锋相对策略的两节点转发博弈中,如果此前两节点都采取合作行为,并且其中一个节点在两个连续时隙 t 和 $t+1$ 发生故障,那么从 $t+2$ 时隙开始,节点拒绝合作.

证明:过程类似命题 1 的证明.

从以上分析可以看出,在基于重复囚徒困境博弈的转发模型中,针锋相对策略引起的合作均衡是脆弱的.严格的针锋相对策略会由于偶发的网络故障导致的网络丢包而引发网络节点的不合作行为,使网络陷入抖动或者彻底不合作状态.在这种状况下,节点整体的收益大大减少.

究其原因,是这种针锋相对策略的惩罚政策过于严格.虽然在理论上来说,惩罚策略大多情况下只是一种为达到合作而设置的威慑,但是在真实网络场景中,惩罚行为的确有可能发生.而一旦节点对某个相邻节点进行惩罚,就会导致对方进一步采取不合作行为,从而使节点本身也受到影响.

3　可容错的针锋相对策略

为了使节点能够容忍一定的网络故障,我们提出一种宽容的针锋相对策略,并且以个体节点对未来收益的期望来促进节点间的合作.

在某一相邻节点对(u,v)中,对任一节点,取一个正整数 n,宽容的针锋相对策略(TTFT)如下:

(1)开始一直选择合作.

(2)自第一个对方不合作的时隙起,n 个时隙内选择无条件合作,这 n 个时隙称为容忍阶段.

(3)如果容忍阶段的 n 个时隙内对方总计有 m 个时隙不合作,那么自第 $n+1$ 个时隙开始,在 $m\times n$ 个时隙内采取针锋相对策略,即第一个时隙采取合作行为,此后采取的行为为 $a_u(t)=a_v(t-1)$.这 $m\times n$ 个时隙称为检验阶段.

(4)$m\times n$ 个时隙的针锋相对策略结束后,博弈重新开始,之前 v 的行为不再考虑,转策略(1).

附加策略:如果某个节点发现自己的链路出现故障,需要在故障恢复后的第一个时隙将状态置为初始状态.

其中 n 的计算方式如下:

假设在前 n 期博弈中,该节点都选择合作,而对方都选择不合作,那么该节点在这段时间内的收益为

$$\Theta(n)=-\sum_{i=0}^{n}F(x)\delta^{i-1}\tag{3}$$

令
$$\sum_{i=0}^{n}F(x)\delta^{i-1}\leqslant T(x)\delta^{n}\tag{4}$$

n 的值为使式(4)成立的最大正整数.

4　策略分析

对这个策略直觉上的解释是:在节点对(u,v)中,u 在 $n+1$ 个时隙内最低只期望一次合作,也就是即使在 n 个时隙内,v 都选择拒绝,只要第 $n+1$ 个时隙 v 选择合作,那么节点 u 的期望收益为

$$\Theta_u(n)=T(x)\delta^{n}-\sum_{i=0}^{n}F(x)\delta^{i-1}\tag{5}$$

由式(4)可知 $\Theta_u(n)>0$,其收益仍然是可接受的,所以即使 $n-1$ 个时隙内,v 都选择拒绝,第 n 个时隙 u 仍然选择合作.此后,v 需要为它在前 n 个时隙内的每 1 次不合作行为接受 n 次针锋相对的检验.所以,TTFT 的策略周期是变长的,检验阶段随对方不合作行为或网络故障而变化.

命题 3:TTFT 策略中,在没有网络故障的情况下,在两个诚实节点间能达到稳定的合作.

证明:两个节点从第一时隙开始选择合作,由于没有任何激励使之改变状态,所以两个节点会始终采取合作行为.　　证毕.

命题 4:以 TTFT 策略进行的无限重复转发博弈中,对可觉察的网络故障,从故障恢复后的第一个时隙起,最多经过 n^2 个时隙可以达到双方稳定合作状态.

证明:假设节点对(u,v)中,v 发生了可察觉的故障,对 u 的策略周期影响最大的情况是,容忍阶段的连续 n 个时隙都发生了故障.此后 n^2 个时隙内实行针锋相对策略.此时 v 已经恢复,并采取附加的无条件合作策略,从而该两点此时的策略立刻达成合作.经过 n^2 个 u 对 v 的考察期,两个节点都进入稳定合作状态.　证毕.

命题 5:TTFT 策略中,最大可以容忍 n 个连续时隙的无察觉的网络故障,之后经过 n^2 个时隙可以恢复到双方稳定合作状态,并在此过程中达到双方的最大期望收益.

证明:在 u 的初始容忍阶段中,假设前 n 个时隙中,v 发生无法察觉的网络故障.当第 $n+1$ 个时隙 v 故障恢复时,u 和 v 都采取针锋相对策略,由于第一个周期都会采取合作行为,所以两个节点会始终采取合作策略,直到双方的检验阶段都结束.双方的检验阶段长度为 n^2 个时隙,在这个过程中,没有发生因误解而导致的收益损失.　　证毕.

下面我们考察作弊的情况.假设节点选择作弊时,需要一个初始负收益 $-\gamma$,$\gamma>0$,而且 γ 远大于 $T(x)$.

对作弊节点来说,由于它了解诚实节点采取的策略,那么它每采取一次不合作行为,就要在此后的 n 个时隙内采取合作行为,才能使自己的收益最大.

定义 1: TTFT 策略中,如果节点对 (u,v) 包含一个诚实节点 u 和一个作弊节点 v,那么如果 v 在 u 的每个容忍阶段内采取 k 次不合作行为,称该策略为作弊策略 k,其中 k 为正整数.

引理 1: 作弊策略 1 的最佳选择是作弊节点在诚实节点容忍阶段的第一个时隙采取不合作行为.

证明:假设在 u 的容忍阶段内,v 在第 t 个时隙采取不合作行为,在 u 的检验阶段内,v 采取无条件合作,那么在双方无故障的情况下,v 在博弈开始时对这 $2n$ 个时隙的期望收益是:

$$\Theta_v(2n)=\sum_{i=1}^{2n}T(x)\delta^{i-1}-\sum_{i=1}^{2n}F(x)\delta^{i-1}+F(x)\delta^{t-1}-\gamma \tag{6}$$

考虑到 $0\leqslant\delta\leqslant 1$,

$$\Theta_v(2n)\leqslant\sum_{i=1}^{2n}T(x)\delta^{i-1}-\sum_{i=2}^{2n}F(x)\delta^{i-1}-\gamma \tag{7}$$

也就是 $t=1$ 时作弊节点 v 的期望收益最大. 证毕.

定义 2: TTFT 策略中,如果相邻节点对 (u,v) 包含一个诚实节点 u 和一个作弊节点 v,那么作弊节点如果在诚实节点的每个容忍阶段的前 k 个时隙采取不合作行为,称该策略为连续作弊策略 k,其中 k 为正整数.

引理 2: 连续作弊策略 k 是作弊策略 k 的最大收益策略.

证明:根据引理 1,可以容易的推导出,对每次不合作行为,采取的越早,期望收益越大.所以前 k 个连续时隙不合作收益最大. 证毕.

引理 3: TTFT 策略中,对节点对 (u,v) 中的诚实节点 u 和作弊节点 v,当 $n>2$ 时,采用连续作弊策略 k 的作弊节点在 $k=n$ 时期望收益最大.

证明:用归纳法.首先证明,在 $k>1$ 时,连续作弊策略 k 的期望收益大于连续作弊策略 1.

连续作弊策略 1 中,初始周期中 v 有一次不合作行为,那么此后 n 个时隙 u 会采取针锋相对策略,那么每经过 $2n$ 个时隙重新回到起始状态,连续作弊策略 k 在第一个周期内的 n 个时隙内采取 k 次合作策略,那么此后的 $k\times n$ 个时隙内 u 会采取针锋相对策略,所以连续作弊策略 k 每 $n(k+1)$ 个时隙重新回到起始状态.比较两种策略在一个公倍数 $2n(k+1)$ 时隙内的期望收益.

连续作弊策略 1.

$$\Theta_1(2nk+2n)=\sum_{i=1}^{2n(k+1)}T(x)\delta^{i-1}-\sum_{i=1}^{2n(k+1)}F(x)\delta^{i-1}+F(x)(\delta^0+\delta^{2n}+\cdots+\delta^{2nk})-\gamma \tag{8}$$

连续作弊策略 k:

$$\Theta_k(2nk+2n)=\sum_{i=1}^{2n(k+1)}T(x)\delta^{i-1}-\sum_{i=1}^{2n(k+1)}F(x)\delta^{i-1}+F(x)\Big(\sum_{i=1}^{n}\delta^{i-1}+\sum_{i=n(k+1)+1}^{n(k+2)}\delta^{i-1}\Big)-\gamma \tag{9}$$

考虑到 $0\leqslant\delta\leqslant 1$,比较式(8)和式(9)可以得出 $\Theta_k(2nk+2n)>\Theta_1(2nk+2n)$ 在 $n>2$ 时成立.

然后证明,在 $n\geqslant k>1$ 时,连续作弊策略 k 优于连续作弊策略 $k-1$.下面比较两种策略在一个公倍数 $nk(k+1)$ 时隙内的收益.

连续作弊策略 $k-1$:

$$\Theta_{k-1}(nk^2+nk)=\sum_{i=1}^{nk(k+1)}T(x)\delta^{i-1}-\sum_{i=1}^{nk(k+1)}F(x)\delta^{i-1}+F(x)\Big(\sum_{i=1}^{n}\delta^{i-1}+\sum_{i=nk+1}^{n(k+1)}\delta^{i-1}+\cdots+\sum_{i=nk^2+1}^{nk^2+n}\delta^{i-1}\Big)-\gamma \tag{10}$$

连续作弊策略 k:

$$\Theta_k(nk^2+nk)=\sum_{i=1}^{nk(k+1)}T(x)\delta^{i-1}-\sum_{i=1}^{nk(k+1)}F(x)\delta^{i-1}+F(x)\Big(\sum_{i=1}^{n}\delta^{i-1}+\sum_{i=n(k+1)+1}^{n(k+2)}\delta^{i-1}+\cdots+\sum_{i=(k^2-1)n+1}^{nk^2}\delta^{i-1}\Big)-\gamma \tag{11}$$

比较式(10)和式(11)可以得出,

$$\Theta_{k-1}(nk^2+nk)<\Theta_k(nk^2+nk)$$

所以,在容忍阶段 k 越大,连续作弊策略 k 的期望收益越大,由于诚实节点的容忍阶段为 n 个时隙,所以 $k=n$ 时收益最大. 证毕.

命题 6: TTFT 策略中,如果节点对包含一个诚实节点 u 和一个作弊节点 v,假设 α 是使

$$\sum_{i=1}^{\alpha}T(x)\delta^{i(n+1)+n}\leqslant\gamma$$

成立的最大整数值,那么最少需要经过 α 个完整的容忍和检验阶段,即 $\alpha n(n+1)$ 个时间间隙,作弊节点的收益才会超过诚实节点.

证明:根据引理 2 和引理 3,v 在 u 的容忍阶段内采取连续 n 个不合作行为的期望收益最大.在整个容忍期和检验期内的 $n(n+1)$ 个时隙内,作弊节点的最大期望收益为:

$$\Theta_v(n^2+n)=\sum_{i=1}^{n(n+1)}T(x)\delta^{i-1}-\sum_{i=1}^{n(n+1)}F(x)\delta^{i-1}+F(x)\sum_{i=1}^{n}\delta^{i-1}-\gamma \tag{12}$$

而全部采取合作行为在 $n(n+1)$ 内的期望收益:

$$\Theta(n^2+n)\leqslant\sum_{i=1}^{n(n+1)}T(x)\delta^{i-1}-\sum_{i=1}^{n(n+1)}F(x)\delta^{i-1} \tag{13}$$

比较式(12)和式(13)可以看出,除去作弊节点的初始作弊代价外,每个这样的循环,作弊产生的额外收益只有 $\Delta\pi = F(x)\sum_{i=1}^{n}\delta^{i-1}$,由式(4)可以得出,$\Delta\pi \leqslant T(x)\delta^{n}$.也就是说,每次采用连续作弊策略 n 经历一个完整的容忍阶段和检验阶段,由作弊产生的额外收益不超过当期的 $T(x)$在当前的贴现.假设 α 为正整数,经过 α 个周期后,作弊的额外收益为

$$\Delta\Theta_v(\alpha n(n+1)) = \sum_{j=1}^{\alpha}\Delta\pi\delta^{j(n+1)} \leqslant \sum_{i=1}^{\alpha}T(x)\delta^{i(n+1)+n} \tag{14}$$

令 $\sum_{i=1}^{\alpha}T(x)\delta^{i(n+1)+n} \leqslant \gamma$,取该式成立的最大整数 α,可以看出,至少经过 α 个完整的容忍阶段和检验阶段,即 $\alpha n(n+1)$个时隙后,作弊节点的累计收益才会大于诚实节点.　　证毕.

根据以上分析,策略 TTFT 可以在一定程度上容忍网络故障,可以在发生网络故障后在有限时间内达到稳定合作状态.并且由命题 6 可以看出,如果作弊的初始成本 γ 与一个时隙内的最大收益 $T(x)$相差太大,那么作弊节点需要经过相当长的时间才能从作弊中获利,从一定程度上降低了节点作弊的积极性.

5　模拟试验

以上从两个相邻节点的角度对 TTFT 进行了理论上的分析,下面我们从试验的角度,在一个大范围的网络环境中,检验 TTFT 策略对网络故障的容错能力以及对作弊的免疫性,并将其与典型的 GTFT 策略对比.

试验选用 Peersim[11]模拟平台,总共进行 3 组,每一组试验设置 100 个随机连接的节点,跟踪前 1000 期的博弈情况,记录节点在每一期的行为与对应的收益.TTFT 策略的试验参数设置:$F(x)=1$, $T(x)=10$, $\gamma=100$,贴现因子 $\delta=0.9$,每个节点在每个时隙对每个邻居发送相同流量的数据.为了与 TTFT 更加近似的对比,设置 GTFT 策略的完全合作周期为 1,针锋相对周期为 9.引入一个“理想最大收益”,指假设所有节点在所有周期都实施合作行为所得到的收益.该值仅与故障相关,可以直接反映故障情况.

第一组试验,每个节点都是诚实节点,给节点设置自 0.1%至 2.0%的随机故障率,分别统计 GTFT 和 TTFT 在 1000 个周期内所有节点的实际收益,结果如图 2 所示.可以看出 TTFT 在故障情况下能够平稳的保持比较大的收益,明显超出 GTFT 的收益.

在该试验基础上,为了更加清晰的观察两种策略对故障的敏感度,我们分别选择了一个较低的故障率 0.2%和一个较高的故障率 2%,在 100 个周期内分别观察 TTFT 和 GTFT 系统在故障情况下的自修复能力,结果如图 3 和图 4 所示.可以看出,TTFT 对故障的容忍能力更强,系统能够平稳的保持较高的收益.

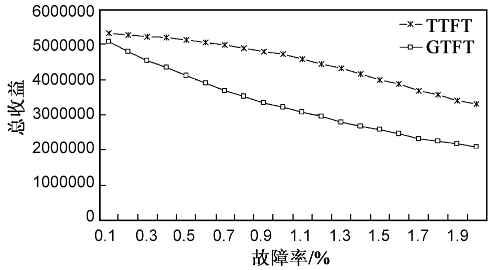

图2　TTFT与GTFT不同故障率情况下收益对比

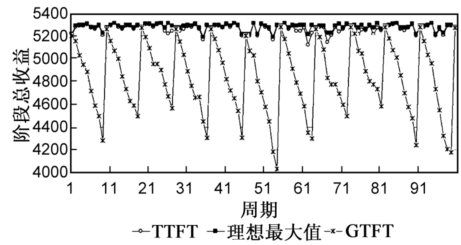

图3　TTFT策略对故障的敏感度(故障率0.2%)

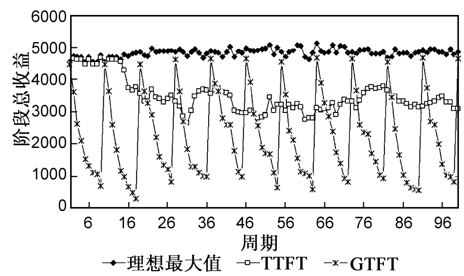

图4　TTFT策略对故障的敏感度(故障率2%)

由以上的试验可以得出,节点对故障的宽容使得总体的收益较高,但是这也同样会引发其它节点对这种宽容的不正当利用,即作弊.为了观察 TTFT 系统对作弊的抵御能力,设置作弊节点 5%,观察 500 个周期内,诚实节点与作弊节点的平均收益对比.结果如图 5 所示.

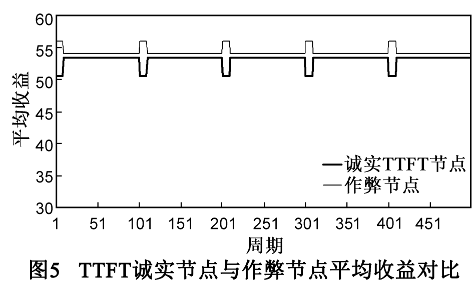

图5　TTFT诚实节点与作弊节点平均收益对比

由图 5 可以看出,每 100 个博弈阶段,收益呈周期性变化,只有每个循环的前 10 个完全合作阶段,作弊节点有明显较高收益,大约高出诚实节点 11%,在其它时间只高出大约 1%.

6 结论

本文针对覆盖网节点间的合作激励问题,提出了一种相邻两个节点间的基于针锋相对策略的可容错激励机制 TTFT.理论分析证明该策略可以在网络发生故障情况下短时间内使节点间达到稳定合作,并能有效防止作弊.多个节点间的模拟试验表明,(1)在存在故障的网络环境下,TTFT 的整体收益优于固定容忍阶段的 GTFT;(2)在采用 TTFT 策略的网络中存在少数作弊节点时,作弊节点的平均收益不会显著大于诚实节点.

参考文献:

[1] 杨戈,廖建新,朱晓民,樊秀梅.流媒体分发系统关键技术综述[J].电子学报,2009,37(1):137－145.
Yang Ge; Liao Janxin, Zhu Xiaomin, Fan Xiumei. Survey of key technologies of the distribution system for streaming media [J]. Acta Electronica Sinica. 2009, 37(1): 137－145. (in Chinese)

[2] Qiu Y, Marbach P. Bandwidth allocation in ad hoc networks: a price－based approach[A]. Proceedings of IEEE INFOCOM 2003[C]. San Francisco USA: IEEE Press, 2003. 797－807.

[3] Tan G, Jarvis S A. A payment-based incentive and service differentiation mechanism for peer-to-peer streaming broadcast [A]. Proceedings of IWQoS 2007[C]. New Haven, USA: IEEE Press, 2007. 41－50.

[4] Zhou R, Hwang K. Gossip-based reputation aggregation for unstructured peer-to-peer networks[A]. Proceedings of IEEE IPDPS 2007[C]. Long Beach, CA: IEEE Press, 2007. 1－10.

[5] Wu C, Li B. Strategies of conflict in coexisting streaming overlays[A]. Proceedings of IEEE INFOCOM 2007[C]. Anchorage, USA: IEEE Press, 2007. 481－489.

[6] Molander P. The optimal level of generosity in a selfish, uncertain environment[J]. The Journal of Conflict Resolution, 1985, 29(4): 611－618.

[7] Boyd R. Mistakes allow evolutionary stability in the repeated prisoner's dilemma[J]. Journal of Theoretical Biology, 1989, 136(1): 47－56.

[8] Nowak M, Sigmund K. A strategy of win-stay, lose-shift that outperforms tit-for-tat in the prisoner's dilemma game[J]. Nature, 1993, 364(6432): 56－58.

[9] Axelrod R. The evolution of cooperation[J]. Science, 1981, 211(4489): 1390－1396.

[10] Lian Q, Peng Y, Yang M, et al. Robust incentives via multi-level tit-for-tat[J]. Concurrency and Computation: Practice & Experience, 2008, 20(2): 167－178.

[11] Jelasity M, Montresor A, Jesi G P, et al. The Peersim Simulator[DB/OL]. http://peersim.sourceforge.net/, 2009.05.

作者简介:

王 锐 男,1978 年出生于山东德州,北京航空航天大学博士生.研究方向为新型网络体系结构. E-mail: rui.wang@jsi.buaa.edu.cn

朱青林 男,1986 年出生于安徽阜阳,北京航空航天大学硕士生.研究方向为 P2P 流媒体网络.
E-mail: qinglin.zhu@jsi.buaa.edu.cn