

Analysis of the Construction and Sharing of Telecom Infrastructure with Game Model

Maohong Zhang, Xicheng Yin, Denghong Chu

Strengthen College, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing
Email: B10110110@njupt.edu.cn

Received: Sep. 22nd, 2012; revised: Oct. 20th, 2012; accepted: Nov. 6th, 2012

Abstract: With the introduction of the notice in the construction and sharing of telecom infrastructure from the Ministry of Industry, the construction and sharing activities are carried out across the country. However, they have met many problems when putting into practice. We analyze interests between telecom operators by creating static game model and the dynamic evolution game model. We have proved the necessity of existing of barriers and the legitimacy of the construction and sharing of telecom infrastructure. It is necessary that the government and relevant departments should give out some safeguards in the construction and sharing of telecom infrastructure.

Keywords: Telecom Infrastructure; The Construction and Sharing; Game Model; Government Protection

电信基础设施共建共享博弈研究

张茂洪, 尹熙成, 储灯红

南京邮电大学强化培养部, 南京
Email: B10110110@njupt.edu.cn

收稿日期: 2012年9月22日; 修回日期: 2012年10月20日; 录用日期: 2012年11月6日

摘要: 随着工信部关于电信基础设施共建共享通知的出台, 全国各地陆续开展了共建共享活动, 但在实际操作中却面临诸多障碍。通过研究共建共享现状, 建立共建共享静态博弈模型和动态进化博弈模型, 分析了电信运营商之间共建共享的利益关系, 从理论上证明了共建共享障碍存在的必然性以及共建共享实施的合理性, 并引申出政府及相关部门出台共建共享保障措施的必要性。

关键词: 电信基础设施; 共建共享; 博弈模型; 政府保障

1. 国内电信基础设施共建共享发展现状

1.1. 国内电信共建共享总体进程及其成果

随着国内电信业基础设施的建设投入不断加大, 电信业基础设施重复建设问题也日益严重^[1]。2008年年底, 工信部紧急出台了《关于推进电信基础设施共建共享的紧急通知》, 要求运营商对铁塔、基站等基础设施进行共建共享。

截止到2010年第三季度, 我国电信行业开展的

基础设施共建共享活动, 共减少新建铁塔7.76万个、杆路25.8万km、基站站址及其配套设备(含塔)17.12万个、传输线路(含杆路)49.6万km, 以上共节约的投资约为432亿元。

1.2. 国内电信共建共享存在的问题

虽然我国共建共享已取得较大进展, 但在其发展中仍存在很多问题, 在思想观念方面, 视电信基础设施为企业命脉的现象依然存在; 在财务成本方面,

共建共享各项费用的支付均没有很明确的支付单位；在运营管理方面，很多关于人员分配、物资调配等问题都难以得到很好解决。

2. 运营商间的博弈模型

2.1. 完全信息静态博弈

假设运营商都是理性经济人，相互间的信息都是完全的。三大运营商之间的博弈可简化为两两博弈。我们通过完全信息静态博弈来研究运营商在策略性环境中如何进行策略性决策。

基本假设：

- 1) 假设 A、B 两个运营商，且其产品具有替代性；
- 2) 市场中的总供给 $Q = q_1 + q_2$ ，逆需求函数 $P(Q) = a - bQ$ (P 是价格， q_1 、 q_2 分别是运营商 A 和 B 的产量)^[5]；
- 3) 每个运营商的固定成本都为 c ；
- 4) 运营商利润用 π 表示。

情况一：当 A、B 都采取合作策略时：

$$TR = PQ = aQ - bQ^2, MR = a - 2bQ$$

由 $MR = MC = c$ 得 $Q = \frac{a-c}{2b}$, $p = \frac{a+c}{2}$ ，均分到每

个企业的产为： $q_1 = q_2 = \frac{a-c}{4b}$ 每个企业的利润为

$$\pi_1 = \pi_2 = \frac{a-c}{4b} * (p-c) = \frac{(a-c)^2}{8b}$$

情况二：当某一企业采取不合作策略时(假设为 A)：

它仅根据自己利润最大化原则来决定产量：

$$\text{利润 } \pi_1 = q_1 [a - b(q_1 + q_2) - c]$$

运营商 A 的利润最优一阶条件为

$$\frac{\partial \pi_1}{\partial q_1} = a - c - b(2q_1 + q_2) = 0 \quad (1)$$

运营商 B 可以选择合作，也可以选择不合作。

假如 B 选择不合作，也仅根据自己利润最大化原则来决定产量。

$$\text{其利润 } \pi_2 = q_2 [a - b(q_1 + q_2) - c]$$

运营商 B 的利润最优一阶条件为

$$\frac{\partial \pi_2}{\partial q_2} = a - c - b(2q_2 + q_1) = 0 \quad (2)$$

联立(1)和(2)解得：

$$q_1 = \frac{a-c}{3b}$$

$$q_2 = \frac{a-c}{3b}$$

$$\pi_1 = \pi_2 = \frac{(a-c)^2}{9b}$$

假如 B 选择合作，则有

$$q_2 = \frac{a-c}{4b} \quad (3)$$

将式(3)带入(1)得

$$\frac{\partial \pi_1}{\partial q_1} = a - c - b \left(2q_1 + \frac{a-c}{4b} \right) = 0$$

$$q_1 = \frac{3(a-c)}{8b}$$

$$\pi_1 = q_1 (P - c) = q_1 [a - b(q_1 + q_2) - c] = \frac{9(a-c)^2}{64b}$$

$$\pi_2 = q_2 (P - c) = q_2 [a - b(q_1 + q_2) - c] = \frac{6(a-c)^2}{64b}$$

相应的博弈支付矩阵如表 1。

显然总利润 $\pi(\text{都合作}) > \pi(\text{一方合作}) > \pi(\text{都不合作})$ ，即双方都合作的总利润是最大的，对社会造成的财富最多。然而根据此结果，当参与的一方选择合作策略时，理性的另一方肯定会选择不合作策略，因为其选择不合作策略得到的利润比选择合作得到的利润更高。在双方相互博弈的过程中，最终实现的纳什均衡是(不合作，不合作)^[4]。

2.2. 进化博弈模型分析

由前面的静态，我们得出运营商双方最终会陷入

Table 1. Game matrix of operator A & B
表 1. A、B 运营商的博弈矩阵

		运营商 B	
		合作	不合作
运营商 A	合作	$\frac{(a-c)^2}{8b}, \frac{(a-c)^2}{8b}$	$\frac{6(a-c)^2}{64b}, \frac{9(a-c)^2}{64b}$
	不合作	$\frac{9(a-c)^2}{64b}, \frac{6(a-c)^2}{64b}$	$\frac{(a-c)^2}{9b}, \frac{(a-c)^2}{9b}$

(不合作, 不合作)的困境的结论, 因此仅从博弈论的角度看, 政府出台相关制度保障就有其必要性。为了进一步证明政府制度保障的合理性, 现采用进化博弈理论有效地研究在有限理性情况下, 运营商在共建共享过程中的策略选择问题。

假设在博弈初始状态下, 运营商 A 采取“合作”策略的概率为 $x(0 \leq x, y \leq 1)$, 那么采取“不合作”策略的概率则为 $1-x$; 运营商 B 采取“合作”策略的概率为 y , 那么采取“不合作”的概率为 $1-y$ 。根据进化博弈论的原理, 参与博弈的运营商是“合作”类型或“不合作”类型, 并不是事先确定的, 而是随着参与过程中的战略调整而改变^[3]。

综上所述, 假设运营商进化博弈的收益矩阵如表 2 所示(其中 a, b, c, d, e, f, g, h 为常数)。

为了使双方走出(不合作, 不合作)的困境, 政府必须通过相关制度保障等外在动力使得双方采取合作策略能获得更大的收益, 在表中表现为使 $c > g, a > e, f > h, b > d$ 。

运营商 A 中选择“合作”、“不合作”两种策略的期望收益 μ_1 、 μ_2 和平均收益 $\bar{\mu}$ 分别为:

$$\mu_1 = ay + (1-y)c$$

$$\mu_2 = ey + (1-y)g$$

$$\begin{aligned} \bar{\mu} &= x\mu_1 + (1-x)\mu_2 \\ &= xy a + xc(1-y) + ye(1-x) + (1-y)(1-x)g \end{aligned}$$

同理, 运营商 B 中选择“合作”、“不合作”两种策略的期望收益 μ'_1 、 μ'_2 和平均收益 $\bar{\mu}'$ 分别为:

$$\mu'_1 = xb + (1-x)f$$

$$\mu'_2 = xd + (1-x)h$$

$$\begin{aligned} \bar{\mu}' &= y\mu'_1 + (1-y)\mu'_2 \\ &= xy b + yf(1-x) + xd(1-y) + (1-y)(1-x)h \end{aligned}$$

“复制动态”是指使用某一纯策略的人数所占比

Table 2. Pay off matrix of operators' evolutionary game
表 2. 运营商进化博弈的收益矩阵

		运营商 B	
		合作	不合作
运营商 A	合作	a, b	c, d
	不合作	e, f	g, h

例的增长率等于使用该策略时所得支付与群体平均支付之差, 或者与平均支付成正比例。根据进化博弈复制动态理论, 我们可以得到博弈双方的复制动态方程分别为($\frac{d_x}{d_t}$ 表示 A 合作的概率 x 随时间的变化率):

运营商 A:

$$\begin{aligned} F(x) &= \frac{d_x}{d_t} = x(\mu'_1 - \bar{\mu}') \\ &= x(1-x)[(1-y)(c-g) + (a-e)y] \end{aligned}$$

运营商 B:

$$\begin{aligned} F(y) &= \frac{d_y}{d_t} = y(\mu'_2 - \bar{\mu}') \\ &= y(1-y)[(1-x)(f-h) + (b-d)x] \end{aligned}$$

对于运营商 A: 令 $F(x) = 0$, 得 $x = 0$ 或 $x = 1$ 是动态方程的两个稳定策略。

根据进化稳定策略的性质, 一个稳定状态必须对微小扰动具有稳健性才能称为进化稳定策略。也就是说, 作为进化稳定策略的点 x^* , 除了本身必须是均衡状态以外, 还必须具有这样的性质, 即如果某些博弈方由于偶然的错误偏离了它们, 复制动态仍然会使 x 回复到 x^* ^[2,3]。在数学上, 这相当于要求当干扰使 x 出现低于 x^* 时, $F(x) = \frac{d_x}{d_t}$ 必须大于 0, 当干扰使 x 出现

高于 x^* 时, $F(x) = \frac{d_x}{d_t}$ 必须小于 0。也就是在稳定状态处 $F(x)$ 的导数 $\frac{d_{F(x)}}{d_x}$ (也就是切线的斜率)必须小于 0。这就是微分方程的“稳定性定理”。

由 $F(x)$ 可知, 当 $y^* = \frac{g-c}{a-e+g-c}$ 时, $F(x)$ 恒等于 0, 这意味着 x 在 0~1 范围内的所有状态都是稳定状态。

根据“稳定性定理”, 当 $y > y^* = \frac{g-c}{a-e+g-c}$ 时, $\left. \frac{d_{F(x)}}{d_x} \right|_{x=0} > 0, \left. \frac{d_{F(x)}}{d_x} \right|_{x=1} < 0$, 因此 $x = 1$ 是进化稳定策略, 即运营商 A 趋向于采取“合作”策略; 同理, 当

$y < y^* = \frac{g-c}{a-e+g-c}$ 时, $\left. \frac{d_{F(x)}}{d_x} \right|_{x=0} < 0, \left. \frac{d_{F(x)}}{d_x} \right|_{x=1} > 0$, 因此 $x = 0$ 是进化稳定策略, 即运营商 A 趋向于采取

“不合作”策略。

同理，对于运营商 B：令 $F(y)=0$ ，得 $y=0$ 或 $y=1$ 是动态方程的两个稳定策略。由 $F(y)$ 可知，当 $x^* = \frac{h-f}{b-d+h-f}$ 时， $F(y)$ 恒等于 0，这意味着 y 在

0~1 范围内的所有状态都是稳定状态。

根据“稳定性定理”，当 $x > x^* = \frac{h-f}{b-d+h-f}$ 时，

$$\left. \frac{d_{F(y)}}{d_y} \right|_{y=0} > 0, \quad \left. \frac{d_{F(y)}}{d_y} \right|_{x=1} < 0, \quad \text{因此 } y=1 \text{ 是进化稳定策略}$$

略，即运营商 B 趋向于采取“合作”策略；同理，当

$$x < x^* = \frac{h-f}{b-d+h-f} \text{ 时, } \left. \frac{d_{F(y)}}{d_y} \right|_{y=0} < 0, \quad \left. \frac{d_{F(y)}}{d_y} \right|_{y=1} > 0,$$

因此 $y=0$ 是进化稳定策略，即运营商 B 趋向于采取“不合作”策略。

根据上述分析，可以得到进化博弈动态相位图(图 1)，图中箭头表示进化博弈的收敛方向。

前面已假设开始博弈时双方合作的概率 (x, y) 落在在区间 $[0,1]$ 任一点的概率相同，在这个复制动态进化博弈中，当初始情况 (x_0, y_0) 落在区域 A 时，即 $x > x^*, y > y^*$ 时，该博弈会收敛到进化稳定策略 $x=1, y=1$ ，即双方都采取合作策略。当初始情况 (x_0, y_0) 落在区域 C 时，即 $x < x^*, y < y^*$ 时，会收敛到进化稳定策略 $x=0, y=0$ ，即双方都采取不合作策略。

因此，为了使运营商 A、B 都采取合作策略，应让初始情况 (x_0, y_0) 落在区域 A 的可能性尽可能的大，

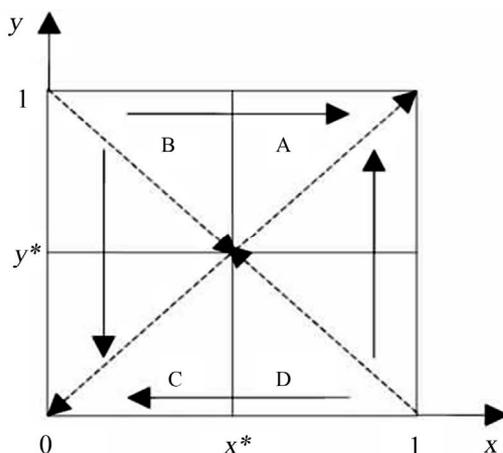


Figure 1. Dynamic phase diagram of evolutionary game
图 1. 进化博弈动态相位图

即使 A 区域的面积尽可能的大，即使 x^*, y^* 的值尽可能的小。

$$\text{再看到 } x^* = \frac{h-f}{b-d+h-f} = \frac{1}{\frac{b-d}{h-f} + 1}, \quad x^* \text{ 越小,}$$

$\frac{b-d}{h-f}$ 越大，即使 $b-d$ 尽可能的大， $h-f$ 尽可能的小；

$$y^* = \frac{g-c}{a-e+g-c} = \frac{1}{\frac{a-e}{g-c} + 1}, \quad y^* \text{ 越小, } \frac{a-e}{g-c} \text{ 越大,}$$

即使 $a-e$ 尽可能的大， $g-c$ 尽可能的小。

这正是前面假设的 $c > g, a > e, f > h, b > d$ 条件，可见政府出台制度保障来推进共建共享进程自有其合理性。

3. 结论

由于国家政策并未给出操作层面的具体实施意见，加上运营商之间利益无法协调，共建共享依然存在众多难以逾越的鸿沟。

通过建立博弈模型进行具体分析，我们得出如下结论：

1) 运营商间的完全信息静态博弈——运营商双方都采取合作策略时，双方总利润是最大的，对社会造成的财富也越多。但是据此运营商若考虑到自身最大利益必将陷入(不合作，不合作)的僵局，因此国家推进共建共享有其必要性。

2) 运营商间的进化博弈模型——运营商采取(合作，合作)的策略是基于政府出台相关保障措施的。因此政府在共建共享中扮演了非常重要的角色。

参考文献 (References)

- [1] 工信部联通. 关于推进电信基础设施共建共享的紧急通知[Z], 2008.
- [2] 冯晓莉, 杜莲莲. 基于博弈视角的电信基础设施共建共享分析[J]. 西安邮电学院学报, 2010, 15(4): 36-39.
- [3] 谢识予. 经济博弈论(第二版)[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2002.
- [4] 张良桥. 进化博弈基本动态理论[J]. 中国经济评论, 2003, 3(5): 58-68.
- [5] 张良桥. 进化稳定均衡与纳什均衡: 兼谈进化博弈理论的发展[J]. 经济科学, 2001, 23(3): 103-111.