

# 控制与决策

Control and Decision

## 基于产量竞争的供应链RFID技术投资均衡与协调

张李浩, 吴志婷, 范体军

引用本文:

张李浩, 吴志婷, 范体军. 基于产量竞争的供应链RFID技术投资均衡与协调[J]. *控制与决策*, 2020, 35(10): 2514–2520.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1659>

---

## 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

### 制造商竞争与合作下双渠道供应链联合减排的微分博弈分析

Differential game model of joint emission reduction strategies in a dual-channel supply chain considering manufacturers' competition and cooperation

*控制与决策*. 2018, 33(11): 2021–2028 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2017.0818>

### 产量和需求随机下基于收益共享契约的供应链决策

Decision of supply chain based on revenue-sharing contract with random yield and random demand

*控制与决策*. 2016, 31(8): 1435–1440 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2015.0830>

### 制造商主导型双渠道供应链协调决策模型

Supply chain coordination decision model of manufacture-led dual-channel supply

*控制与决策*. 2016, 31(8): 1519–1525 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2015.0866>

### 基于碳配额政策的两级低碳供应链博弈与优化

Game and optimization of a two-level low-carbon supply chain under the carbon quota policy

*控制与决策*. 2016, 31(5): 924–928 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2015.0372>

### 基于战略顾客行为的不同权力结构下供应链绩效

Supply chain performance under different power structures based on strategic customer behavior

*控制与决策*. 2016(3): 458–466 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2014.1903>

# 基于产量竞争的供应链 RFID 技术投资均衡与协调

张李浩<sup>1,2†</sup>, 吴志婷<sup>1</sup>, 范体军<sup>3</sup>

(1. 上海海事大学 物流研究中心, 上海 201306; 2. 复旦大学 管理学院, 上海 200433; 3. 华东理工大学 商学院, 上海 200237)

**摘要:** 以单制造商和单零售商组成的双渠道供应链为研究对象, 基于供应链成员是否采用无线射频识别 (radio frequency identification, RFID) 技术, 分别构建链上成员均不采用 RFID (NN)、仅制造商采用 RFID (AN)、仅零售商采用 RFID (NA) 以及链上成员均采用 RFID (AA) 四种情景下的收益模型, 求解出相应的最优解, 并探讨链上成员采用 RFID 的均衡策略. 研究发现: 双渠道供应链采用 RFID 的均衡策略取决于渠道竞争强度、收益共享系数及 RFID 标签成本. 竞争强度较小时, 供应链成员均倾向于采用 RFID; 反之, 则仅零售商倾向于采用该技术. 收益共享系数较高时, AA 情景不会出现; 反之, 若制造商采用 RFID, 则 AA 为均衡策略. RFID 标签成本较低 (高) 时, 供应链成员倾向于采用 (不采用) RFID 技术.

**关键词:** 产量竞争; 无线射频识别; 库存错放; 均衡策略; 收益共享契约

中图分类号: TP273

文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2018.1659

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



**引用格式:** 张李浩, 吴志婷, 范体军. 基于产量竞争的供应链 RFID 技术投资均衡与协调 [J]. 控制与决策, 2020, 35 (10): 2514-2520.

## Equilibrium strategies and coordination of RFID technology adoption in supply chain under cournot competition

ZHANG Li-hao<sup>1,2†</sup>, WU Zhi-ting<sup>1</sup>, FAN Ti-jun<sup>3</sup>

(1. Logistics Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China; 2. School of Management, Fudan University, Shanghai 200433, China; 3. School of Business, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

**Abstract:** This paper studies a dual channel supply chain that consists of a manufacturer and a retailer. Based on whether the supply chain partners adopt radio frequency identification (RFID), we accordingly set up the partners' profit models under four scenarios: none of the partners adopts RFID (NN), only the manufacturer adopts RFID (AN), only the retailer adopts RFID (NA), and both of the partners adopt RFID (AA). We obtain the both of the partners' optimal decision-variables and profits. Furthermore, we discuss the equilibrium strategies of RFID adoption in the dual-channel supply chain. The study shows that the equilibrium strategies of RFID adoption in the dual-channel supply chain depend on competition intensity, revenue-sharing coefficient and RFID tagging cost. The supply chain partners tend to adopt RFID with a low competition intensity, while only the retailer is inclined to adopt RFID with a high competition intensity. AA cannot be an equilibrium strategy with a high revenue-sharing coefficient, otherwise, AA is the equilibrium strategy if the manufacturer adopts RFID. The supply chain partners tend to adopt RFID with a low tagging cost while not to adopt RFID otherwise.

**Keywords:** cournot competition; RFID; inventory misplacement; equilibrium strategies; revenue-sharing contract

## 0 引言

随着电子商务的发展, 双渠道供应链销售模式十分普遍<sup>[1]</sup>. 制造商由于存在直销渠道, 在仓储管理及配送过程中会产生库存错放问题<sup>[2]</sup>; 此外, 零售商由

于商品订购数量大以及顾客选购商品等原因, 同样存在库存错放问题. Raman 等<sup>[3]</sup> 调查研究发现: 库存错放问题使企业损失约 25% 的收益, 因此双渠道供应链成员迫切需要解决库存错放问题.

收稿日期: 2018-12-04; 修回日期: 2019-06-25.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71971137, 71601114); 中国博士后科学基金项目 (2019T120307, 2019M651404); 中国科技部邮轮项目 (2018-473).

责任编辑: 李勇建.

†通讯作者. E-mail: lhzhang@shmtu.edu.cn.

无线射频识别 (radio frequency identification, RFID) 是解决企业库存错放问题最有效的技术<sup>[4]</sup>, 已广泛应用于制造业、零售业等领域。由于双渠道供应链上下游企业均存在库存错放问题, 链上成员决策是否采用 RFID 技术时存在 4 种情景: 若上游企业选择不采用 RFID 技术, 则下游企业有不采用 RFID (NA 情景) 和采用 RFID (NN 情景) 两种对策; 若上游企业采用 RFID 技术, 则下游企业也有不采用 RFID (AN 情景) 和采用 RFID 技术 (AA 情景) 两种策略。此时, 单个供应链成员 RFID 采用策略对另一渠道成员 RFID 采用决策产生何种影响? 是否存在采用 RFID 技术的均衡策略, 以及影响该均衡策略的主要因素有哪些? 当供应链成员均采用 RFID 技术时, 如何协调双渠道供应链的收益? 以上问题亟待解决。

与本文相关的研究分为 3 个方面: 库存错放和 RFID 采用策略, 双渠道供应链, 收益共享契约。

库存错放问题是指系统中的库存信息与实际库存信息不匹配<sup>[5]</sup>。Dehoratius 等<sup>[6]</sup>发现美国大型零售商 Gamma 公司的库存记录不准确率高达 65%; Rekik 等<sup>[7]</sup>采用报童模型研究了零售商库存错放问题对其最优订货量及收益的影响。由于 RFID 技术能有效解决库存错放问题, Xu 等<sup>[8]</sup>探讨了单渠道结构下两级供应链成员能够承担的 RFID 成本阈值表达式; Camdereli 等<sup>[9]</sup>分别求解出分散式和集中式决策供应链成员采用 RFID 技术时标签成本的阈值。Fan 等<sup>[10]</sup>研究了零售商存在库存错放问题时的 RFID 采用策略, 发现供应链上下游共同承担 RFID 技术的成本时, 零售商对单位 RFID 标签成本分摊系数更敏感。Zhang 等<sup>[11]</sup>研究了由一个制造商和两个竞争零售商组成的分散式供应链的 RFID 采用策略, 分析了零售竞争对 RFID 采用策略的影响。上述文献仅研究了供应链零售渠道下的 RFID 采用策略, 忽略了 RFID 技术在双渠道供应链中的应用。

双渠道供应链的运营决策是近年来的研究热门。Li 等<sup>[12]</sup>探讨零售商风险指标对零售价格、渠道订货量和链上成员利润的影响, 设计了风险分摊契约以协调双渠道供应链。张学龙等<sup>[13]</sup>建立了制造商主导型双渠道供应链集中式和分散式决策下的收益模型, 探讨了双渠道供应链的协调问题。Hua 等<sup>[14]</sup>引入交货提前期以量化直销渠道的服务质量, 发现交货提前期对制造商和零售商的定价策略及收益有重要的影响。但上述文献忽略了双渠道供应链采用 RFID 技术解决库存错放的均衡投资策略及协调问题。

关于收益共享契约的文献十分丰富, 可参见

Cachon<sup>[15]</sup>的综述性文献。但是, 目前较少文献考虑收益共享契约协调供应链成员采用 RFID 技术的应用成本及收益分配问题, 进一步地, 缺乏研究收益共享系数对双渠道供应链成员采用 RFID 技术解决均衡策略的影响。

本文以单个制造商和单个零售商组成的双渠道供应链为研究对象, 考虑链上成员均存在错放问题。针对供应链成员采用或不采用 RFID 技术分别构建 4 种情景下双渠道供应链的收益模型, 得出相应的最优订货量和最优收益, 并分析库存错放率、渠道竞争强度及 RFID 标签成本对双渠道供应链成员收益的影响。进一步地, 探讨双渠道供应链 RFID 采用均衡及协调策略。

## 1 模型描述

考虑一个由单制造商和单零售商组成的双渠道供应链, 制造商以单位生产成本  $c_m$  生产一种短生命周期商品, 通过直销渠道和零售渠道进行销售。制造商作为 Stackelberg 博弈的领导者, 首先决策是否采用 RFID 技术; 零售商作为竞争市场的跟随者, 在观测到制造商 RFID 采用的决策后, 再决策是否采用 RFID 技术; 制造商同时决策批发价格  $w$  和直销渠道的订货量  $q_m$ ; 最后零售商决策其订货量  $q_r$ 。此外, 假设双渠道供应链上下游成员间信息对称、决策完全理性且以各自的收益最大化为决策标准, “\*” 表示最优解。

假设直销渠道和零售渠道的线性反需求函数分别为  $p_m = a - d_m - \gamma d_r$ ,  $p_r = a - d_r - \gamma d_m$ 。其中:  $d_m$ 、 $d_r$  分别为直销渠道和零售渠道的市场需求量;  $a$  ( $a > 0$ ) 为市场最大容量;  $\gamma$  为两个渠道之间的竞争强度,  $\gamma \in (0, 1)$ 。

零售商和制造商均存在库存错放问题, 假设其库存错放率为  $\alpha$ 。制造商的生产量为  $Q$ , 其中  $(1 - \alpha)Q$  的产品可以用于直销渠道的销售以及对零售商的供货,  $\alpha Q$  的商品由于错放而无法需求。零售商订购  $q_r$  商品时, 其中  $(1 - \alpha)q_r$  的商品可以被正常销售,  $\alpha q_r$  的商品由于错放无法被销售。

当供应链成员采用 RFID 技术时, 假定库存错放问题能够被完全消除<sup>[11-13]</sup>, 即  $\alpha = 0$ 。当供应链成员采用 RFID 技术时, 每个商品均被贴上一个 RFID 标签, 假设 RFID 标签的单位成本为  $c_t$ 。

## 2 供应链成员收益模型

### 2.1 供应链成员均不采用 RFID 技术 (NN) 的收益模型

在 NN 情景中, 制造商和零售商均不采用 RFID 技术, 此时链上成员均存在库存错放问题。制造商首

先制定批发价格  $w^{NN}$  和直销渠道订货量  $q_m^{NN}$ , 然后零售商确定其订货量  $q_r^{NN}$ . 此时, 制造商的生产量为  $Q^{NN} = (q_m^{NN} + q_r^{NN}) / (1 - \alpha)$ ; 零售商的订货量为  $q_r^{NN} = d_r / (1 - \alpha)$ . 记  $\pi_m^{NN}$  和  $\pi_r^{NN}$  分别为制造商和零售商的期望利润, 有

$$\begin{cases} \pi_m^{NN} = w^{NN} q_r^{NN} + p_m^{NN} q_m^{NN} - c_m Q^{NN}, \\ \pi_r^{NN} = p_r^{NN} d_r^{NN} - w^{NN} q_r^{NN}. \end{cases} \quad (1)$$

其中:  $p_m^{NN} = a - q_m^{NN} - \gamma(1 - \alpha)q_r^{NN}$ ,  $p_r^{NN} = a - (1 - \alpha)q_r^{NN} - \gamma q_m^{NN}$ .

关于零售商利润函数, 分别对  $q_r^{NN}$  求一阶和二阶导数, 得到二阶导数  $\partial^2 \pi_r^{NN} / \partial q_r^{NN2} = -2(1 - \alpha)^2 < 0$ , 由此确定存在  $q_r^{NN}$  使得零售商存在最大利润. 令其一阶导等于零, 即  $\partial \pi_r^{NN} / \partial q_r^{NN} = 0$ , 可得零售渠道的订货量为

$$q_r^{NN} = \frac{a}{2(1 - \alpha)} - \frac{q_m^{NN} \gamma}{2(1 - \alpha)} - \frac{w^{NN}}{2(1 - \alpha)^2}. \quad (2)$$

将式(2)代入  $\pi_m^{NN}$  的表达式中, 得到海塞矩阵

$$H^{NN} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi_m^{NN}}{\partial q_m^{NN2}} & \frac{\partial^2 \pi_m^{NN}}{\partial q_m^{NN} \partial w^{NN}} \\ \frac{\partial^2 \pi_m^{NN}}{\partial w^{NN} \partial q_m^{NN}} & \frac{\partial^2 \pi_m^{NN}}{\partial w^{NN2}} \end{bmatrix} = \frac{2 - \gamma^2}{(1 - \alpha)^2},$$

$$\partial^2 \pi_m^{NN} / (\partial q_m^{NN})^2 = -2(1 - \alpha)^2 > 0.$$

因此  $H^{NN}$  负定, 可知制造商存在最大利润. 令  $\partial \pi_m^{NN} / \partial w^{NN} = 0$ ,  $\partial \pi_m^{NN} / \partial q_m^{NN} = 0$ , 可得最优批发价格和直销渠道订货量为

$$w^{NN*} = \frac{1}{2} \left( (1 - \alpha)a + \frac{c_m}{1 - \alpha} \right), \quad (3)$$

$$q_m^{NN*} = \frac{1}{2(2 - \gamma^2)} \left( (2 - \gamma)a + \frac{[\gamma - 2(1 - \alpha)]c_m}{(1 - \alpha)^2} \right). \quad (4)$$

将式(3)和(4)代入(1), 可得零售商的订货量为

$$q_r^{NN*} = \frac{1}{1 - \alpha} \left( \frac{(1 - \gamma)a}{2(2 - \gamma^2)} - \frac{[1 - \gamma(1 - \alpha)]c_m}{2(2 - \gamma^2)(1 - \alpha)^2} \right). \quad (5)$$

将式(3)~(5)代入利润表达式, 得到零售商和制造商的最优利润分别为

$$\pi_r^{NN*} = \left( \frac{(1 - \gamma)a}{2(2 - \gamma^2)} - \frac{[1 - \gamma(1 - \alpha)]c_m}{2(2 - \gamma^2)(1 - \alpha)^2} \right)^2, \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \pi_m^{NN*} = & \frac{(3 - 2\gamma)a^2}{4(2 - \gamma^2)} - \frac{2ac_m[1 - \gamma + (2 - \gamma)(1 - \alpha)]}{4(2 - \gamma^2)(1 - \alpha)^2} + \\ & \frac{[2(1 - \alpha)^2 - 2\gamma(2 - \alpha) + 1]c_m^2}{4(2 - \gamma^2)(1 - \alpha)^4}. \end{aligned} \quad (7)$$

## 2.2 仅制造商采用RFID技术(AN)的收益模型

在AN情景中, 制造商单独采用RFID技术并承担标签成本  $c_t$ , 此时制造商不存在产品错放问题. 由

于零售商处于供应链下游, 从制造商处订货的产品带有RFID标签, 此时零售商的产品错放问题也能得以消除. 记制造商的批发价格和订货量分别为  $w^{AN}$  和  $q_m^{AN}$ , 零售商的订货量为  $q_r^{AN}$ ,  $\pi_m^{AN}$  和  $\pi_r^{AN}$  分别为制造商和零售商的期望利润, 有

$$\begin{cases} \pi_m^{AN} = w^{AN} q_r^{AN} + p_m^{AN} q_m^{AN} - (c_m + c_t)Q^{AN}, \\ \pi_r^{AN} = (p_r^{AN} - w^{AN})q_r^{AN}. \end{cases}$$

其中:  $p_m^{AN} = a - q_m^{AN} - \gamma q_r^{AN}$ ,  $p_r^{AN} = a - q_r^{AN} - \gamma q_m^{AN}$ .

依据第2.1节的博弈思路, 可得制造商的最优批发价格为

$$w^{AN*} = \frac{1}{2}(a + c_m + c_t), \quad (8)$$

两个渠道的最优订货量为

$$\begin{cases} q_r^{AN*} = \frac{1 - \gamma}{2(2 - \gamma^2)}(a - c_m - c_t), \\ q_m^{AN*} = \frac{2 - \gamma}{2(2 - \gamma^2)}(a - c_m - c_t). \end{cases} \quad (9)$$

零售商和制造商的最优利润为

$$\begin{cases} \pi_r^{AN*} = \frac{(1 - \gamma)^2}{4(2 - \gamma^2)^2}(a - c_m - c_t)^2, \\ \pi_m^{AN*} = \frac{3 - 2\gamma}{4(2 - \gamma^2)}(a - c_m - c_t)^2. \end{cases} \quad (10)$$

由式(10)可见: RFID标签成本与供应链成员的利润呈负相关, 即  $\partial \pi_r^{AN*} / \partial c_t < 0$ ,  $\partial \pi_m^{AN*} / \partial c_t < 0$ . 随着RFID标签成本的上升, 链上成员收益呈递减趋势. 这是因为, 当标签成本过高时, 错放产品减少带来的收益增量小于采用成本, 使得制造商的收益减少; 此外, 随着标签成本的增加, 制造商会提高批发价格转移采用成本, 导致零售商减少订货, 从而影响零售商的收益. 这也印证了多年以来较高的标签成本始终是阻碍企业应用RFID技术的主要因素.

此外, 渠道间的竞争强度与供应链成员的利润呈负相关, 即  $\partial \pi_r^{AN*} / \partial \gamma < 0$ ,  $\partial \pi_m^{AN*} / \partial \gamma < 0$ , 这表明渠道间的竞争损害了供应链所有成员的收益. 零售商作为竞争市场的跟随者, 随着渠道竞争强度增大, 零售商可能会倾向寻求新的发展市场, 从而减少该产品的订货量, 导致零售商收益减少. 制造商的收益由直销渠道收益和零售渠道收益共同组成, 零售商减少订货不仅使零售渠道收益减少, 还损害该产品的市场占有率, 从而影响制造商直销渠道的需求量, 导致制造商总体收益减少. 因此, 竞争加剧会损害供应链成员的收益.

## 2.3 仅零售商采用RFID技术(NA)的收益模型

在NA情景中, 零售商单独采用RFID并承担标签成本  $c_t$ , 此时零售商不存在产品错放问题, 其订货量  $q_r^{NA}$  均可用于满足市场需求; 制造商仍然存在库存

错放问题,可用于满足直销渠道和零售渠道的产品数量为  $(1-\alpha)Q^{NA}$ . 记  $\pi_m^{NA}$  和  $\pi_r^{NA}$  分别为制造商和零售商的期望利润,有

$$\begin{cases} \pi_m^{NA} = w^{NA}q_r^{NA} + p_m^{NA}q_m^{NA} - c_mQ^{NA}, \\ \pi_r^{NA} = (p_r^{NA} - w^{NA} - c_t)q_r^{NA}. \end{cases}$$

其中:  $p_m^{NA} = a - q_m^{NA} - \gamma q_r^{NA}$ ,  $p_r^{NA} = a - q_r^{NA} - \gamma q_m^{NA}$ . 可得制造商的最优批发价格为

$$w^{NA*} = \frac{1}{2} \left( a + \frac{c_m}{1-\alpha} + c_t \right). \quad (11)$$

两个销售渠道的最优订货量分别为

$$\begin{cases} q_r^{NA*} = \frac{1-\gamma}{2(2-\gamma^2)^2} \left( a - \frac{c_m}{1-\alpha} - \frac{c_t}{1-\gamma} \right), \\ q_m^{NA*} = \frac{2-\gamma}{2(2-\gamma^2)^2} \left( a - \frac{c_m}{1-\alpha} + \frac{c_t\gamma}{2-\gamma} \right). \end{cases} \quad (12)$$

零售商和制造商的最优利润分别为

$$\begin{cases} \pi_r^{NA*} = \frac{(1-\gamma)^2}{4(2-\gamma^2)^4} \left( a - \frac{c_m}{1-\alpha} + \frac{c_t\gamma}{2-\gamma} \right)^2, \\ \pi_m^{NA*} = \frac{c_t^2 - 2(1-\gamma) \left( a - \frac{c_m}{1-\alpha} \right) c_t + \left( a - \frac{c_m}{1-\alpha} \right)^2 (3-2\gamma)}{4(2-\gamma^2)}. \end{cases} \quad (13)$$

由式(13)可见,制造商的库存错放率与供应链成员的利润呈负相关,即  $\partial \pi_r^{NA*} / \partial \alpha < 0$ ,  $\partial \pi_m^{NA*} / \partial \alpha < 0$ . 当制造商的产品错放率增加时,将提高其批发价格以弥补产品错放带来的损失,从而导致零售商订货量的降低,进而影响直销渠道订货量,损害制造商的总收益. 零售商虽不受自身产品错放的影响,但因上游制造商存在库存错放问题,制造商通过提高批发价格转移库存错放带来的损失,零售商会减少订货量,从而导致零售商收益减量,因此库存错放损害供应链成员的收益. 此外,由于零售商受制造商产品错放的影响,库存错放总是对零售商不利,消除供应链错放产品给零售商带来的收益增量较大,零售商更倾向采用 RFID 技术消除供应链的产品错放.

### 2.4 供应链成员均采用 RFID 技术(AA)的收益模型

AA 情景中,制造商和零售商共同决定采用 RFID 技术. 由第 2.3 节的分析发现:制造商的库存错放问题不仅影响自身利润,也导致零售商的利润下滑. 因此,在 AA 情景中,考虑供应链成员以系统整体利益最大化为出发点,假定零售商将  $\varphi p_r^{AA} d_r^{AA}$  的收益共享给制造商,其中  $\varphi$  为收益共享系数,  $\varphi \in (0, 1)$ . 制造商承担 RFID 标签成本,在生产过程中将 RFID 标签嵌入产品中;零售商直接使用带有 RFID 标签的产品,因此供应链成员均不存在库存错放问题. 在这种协调机制下,制造商和零售商的收益函数为

$$\begin{cases} \pi_r^{AA} = (1-\varphi)p_r^{AA}q_r^{AA} - w^{AA}q_r^{AA}, \\ \pi_m^{AA} = p_m^{AA}q_m^{AA} + w^{AA}q_r^{AA} + \varphi p_r^{AA}q_r^{AA} - (c_m + c_t)Q^{AA}. \end{cases}$$

求解得到最优批发价格为

$$w^{AA*} = \frac{(1-\varphi)[a\gamma + (2+\gamma)(c_m + c_t)]}{2(1+\gamma)}. \quad (14)$$

直销渠道和零售渠道的最优订货量均为

$$q_m^{AA*} = q_r^{AA*} = \frac{a - c_m - c_t}{2(1+\gamma)}. \quad (15)$$

零售商和制造商的最优利润分别为

$$\begin{cases} \pi_r^{AA*} = (1-\varphi) \left( \frac{a - c_m - c_t}{2(1+\gamma)} \right)^2, \\ \pi_m^{AA*} = (1+\varphi + 2\gamma) \left( \frac{a - c_m - c_t}{2(1+\gamma)} \right)^2. \end{cases} \quad (16)$$

## 3 供应链采用 RFID 均衡策略分析

由于制造商率先决策其是否采用 RFID 技术,然后零售商在观测到制造商 RFID 采用决策后,制定其 RFID 采用对策,采用逆序分析的方法,先讨论零售商 RFID 采用的子博弈均衡,在此基础上推导制造商的 RFID 采用对策,从而得出整条供应链的 RFID 采用均衡策略.

### 3.1 零售商 RFID 采用子博弈均衡

基于上述 4 种情景零售商的最优利润,分析得出零售商采用 RFID 技术的子博弈均衡,如定理 1 所示.

**定理 1** 1) 当  $\varphi \in (0, \bar{\varphi}]$  时:若  $c_t \in (0, \bar{c}_{tr}^N]$ , 则零售商选择采用 RFID 技术;若  $c_t \in (\bar{c}_{tr}^N, +\infty)$ , 则零售商选择与制造商作相同决策. 2) 当  $\varphi \in (\bar{\varphi}, 1)$  时:若  $c_t \in (0, \bar{c}_{tr}^N]$ , 则零售商选择与制造商作相反决策;若  $c_t \in (\bar{c}_{tr}^N, +\infty)$ , 则零售商选择不采用 RFID 技术. 其中:  $\bar{c}_{tr}^N = \alpha c_m / (1-\alpha)^2$ ,  $\bar{\varphi} = 1 - [(1-\gamma^2)/(2-\gamma^2)]^2$ .

**证明** 当制造商不采用 RFID 技术时:若零售商采用 RFID 技术,则为 NA 情景;若零售商不采用 RFID 技术,则为 NN 情景. 假设零售商采用 RFID 技术前后其自身收益变化量为  $\Delta_r^N = \pi_r^{NA*} - \pi_r^{NN*}$ , 可得:当  $c_t \in (0, \bar{c}_{tr}^N]$  时,  $\Delta_r^N \geq 0$ , 即 NA 情景为供应链的子博弈均衡;当  $c_t \in (\bar{c}_{tr}^N, +\infty)$  时,  $\Delta_r^N < 0$ , 即 NN 情景为供应链的子博弈均衡.

当制造商采用 RFID 技术时,若零售商采用 RFID 技术,则为 AA 情景;若零售商不采用 RFID 技术,则为 AN 情景. 此时令  $\Delta_r^A = \pi_r^{AA*} - \pi_r^{AN*}$ , 可得当  $\varphi \in (0, \bar{\varphi}]$  时,  $\Delta_r^A \geq 0$ , 即 AA 情景为供应链的子博弈均衡;当  $\varphi \in (\bar{\varphi}, 1)$  时,  $\Delta_r^A < 0$ , 即 AN 情景为供应链的子博弈均衡,进而可得零售商 RFID 技术的博弈策略. 其中:  $\bar{c}_{tr}^N = \alpha c_m / (1-\alpha)^2$ ,  $\bar{\varphi} = 1 - [(1-\gamma^2)/(2-\gamma^2)]^2$ .  $\square$

由定理1可见:当收益共享系数和标签成本均较低或均较高时,零售商RFID采用决策与制造商采用决策无关;当收益共享系数(标签成本)较高时,零售商RFID采用决策与制造商采用策略相关.此外,当收益共享系数较小( $\varphi \in (0, \bar{\varphi}]$ )时,只要制造商采用RFID技术,零售商便选择与制造商联合采用RFID技术;但当共享系数较大时( $\varphi \in (\bar{\varphi}, 1)$ ),零售商不会与制造商联合采用RFID技术.由 $\partial \bar{\varphi} / \partial \gamma = [4\gamma(1 - \gamma^2)] / (2 - \gamma^2)^3 > 0$ 可见:渠道竞争越激烈,可协调供应链的收益共享系数阈值 $\bar{\varphi}$ 越大,即零售商能够给予制造商越大比例的收益.

### 3.2 双渠道供应链RFID采用均衡策略

基于定理1的结论,进一步分析制造商采用RFID技术的决策,得出双渠道供应链投资RFID技术的均衡策略.

#### 3.2.1 收益共享系数较小( $\varphi \in (0, \bar{\varphi}]$ )时,双渠道供应链RFID采用均衡策略

**定理2** 1) 当 $\varphi \in (0, \bar{\varphi}']$ 时:① $\gamma \in (0, \bar{\gamma}_1]$ 时:若 $c_t \in (0, \min(\bar{c}_{tm}^A, \bar{c}_{tr}^N))$ ,则AA情景为供应链的均衡状态;若 $c_t \in (\min(\bar{c}_{tm}^A, \bar{c}_{tr}^N), \bar{c}_{tr}^N)$ ,则NA情景为供应链的均衡状态;若 $c_t \in (\bar{c}_{tr}^N, +\infty)$ ,则NN情景为供应链的均衡状态.② $\gamma \in (\bar{\gamma}_1, 1)$ 时:若 $c_t \in (0, \min(\bar{c}_{tm}^A, \bar{c}_{tr}^N))$ ,则NA情景为供应链的均衡状态;若 $c_t \in (\min(\bar{c}_{tm}^A, \bar{c}_{tr}^N), \bar{c}_{tr}^N)$ ,则AA情景为供应链的均衡状态;若 $c_t \in (\bar{c}_{tr}^N, +\infty)$ ,则NN情景为供应链的均衡状态.

2) 当 $\varphi \in (\bar{\varphi}', \bar{\varphi}]$ 时:① $\gamma \in (0, \bar{\gamma}_1]$ 时:若 $c_t \in (0, \min(\bar{c}_{tm}^A, \bar{c}_{tr}^N))$ 或 $c_t \in (\bar{c}_{tr}^N, \bar{c}_{tm}^S]$ ,则AA情景为供应链的均衡状态;若 $c_t \in (\min(\bar{c}_{tm}^A, \bar{c}_{tr}^N), \bar{c}_{tr}^N)$ ,则NA情景为供应链的均衡状态;若 $c_t \in (\bar{c}_{tm}^S, +\infty)$ ,则NN情景为供应链的均衡状态.② $\gamma \in (\bar{\gamma}_1, 1)$ 时:若 $c_t \in (0, \min(\bar{c}_{tm}^A, \bar{c}_{tr}^N))$ ,则NA情景为供应链的均衡状态;若 $c_t \in (\min(\bar{c}_{tm}^A, \bar{c}_{tr}^N), \bar{c}_{tm}^S)$ ,则AA情景为供应链的均衡状态;若 $c_t \in (\bar{c}_{tm}^S, +\infty)$ 时,则NN情景为供应链的均衡状态.其中

$$\bar{\gamma}_1 = \arg\{\Omega_1 = 0\},$$

$$\Omega_1 = (1 + \varphi + 2\gamma)(2 - \gamma^2) - (1 + \gamma)^2,$$

$$\bar{c}_{tm}^S = a - c_m - 2(1 + \gamma)\sqrt{\pi_m^{NN*} / (1 + \varphi + 2\gamma)},$$

$$\bar{\varphi}' = \frac{4(1 + \gamma)\pi_m^{NN*}}{a - c_m - (ac_m) / (1 - \alpha)^2} - (1 + 2\gamma).$$

**证明** 由定理1的1)可知,当 $\varphi \in (0, \bar{\varphi}]$ 且 $c_t \in (0, \bar{c}_{tr}^N]$ 时,零售商采用RFID技术.此时,若制造商采用RFID技术,则为AA情景;若制造商不采用RFID技术,则为NA情景.假设制造商采用RFID前后自身收益变化量为 $\Delta_m^A = \pi_r^{AA*} - \pi_r^{NA*}$ ,解 $\Delta_m^A = 0$ 得到临界值 $\bar{c}_{tm}^{A1}$ 和 $\bar{c}_{tm}^{A1}$ .分析可知 $\bar{c}_{tm}^{A1}$ 过大,不符合实际情况,因

此舍去.记 $\bar{c}_{tm}^{A1}$ 为 $\bar{c}_{tm}^A$ ,有

$$\bar{c}_{tm}^A = K - \left( K^2 - \left\{ 4(1 + \gamma)^2(2 - \gamma^2) \times \left[ \frac{1 + \varphi + 2\gamma}{4(1 + \gamma)^2} (a - c_m)^2 - \frac{3 - 2\gamma}{4(2 - \gamma^2)} \left( a - \frac{a}{1 - \alpha} \right)^2 \right] \right\} / \Omega_1 \right)^{\frac{1}{2}},$$

其中

$$K = \frac{(1 + \varphi + 2\gamma)(2 - \gamma^2)(a - c_m) - (1 - \gamma)(1 + \gamma)^2 \left( a - \frac{c_m}{1 - \alpha} \right)}{(1 + \varphi + 2\gamma)(2 - \gamma^2) - (1 + \gamma)^2} \rightarrow$$

由 $\Delta_m^A = \pi_r^{AA*} - \pi_r^{NA*}$ ,化简后可得关于 $c_t$ 的一元二次方程,此时 $c_t^2$ 的系数 $\Omega_1 = (1 + \varphi + 2\gamma)(2 - \gamma^2) - (1 + \gamma)^2$ 正负不定,需分情况讨论:1)当 $\gamma \in (0, \bar{\gamma}_1]$ 时, $\Omega_1 \geq 0$ ,此时若 $c_t \in (0, \bar{c}_{tm}^A]$ ,则 $\Delta_m^A \geq 0$ ;若 $c_t \in (\bar{c}_{tm}^A, +\infty)$ ,则 $\Delta_m^A < 0$ .2)当 $\gamma \in (\bar{\gamma}_1, 1)$ 时, $\Omega_1 < 0$ ,此时若 $c_t \in (0, \bar{c}_{tm}^A]$ ,则 $\Delta_m^A \leq 0$ ;若 $c_t \in (\bar{c}_{tm}^A, +\infty)$ ,则 $\Delta_m^A > 0$ .当 $c_t \in (0, \bar{c}_{tr}^N]$ 时零售商才选择采用RFID技术,因此当 $\gamma \in (0, \bar{\gamma}_1]$ 时:若 $c_t \in (0, \min(\bar{c}_{tm}^A, \bar{c}_{tr}^N))$ ,则AA情景是供应链的RFID采用均衡策略;若 $c_t \in (\min(\bar{c}_{tm}^A, \bar{c}_{tr}^N), \bar{c}_{tr}^N)$ ,则NA情景是供应链的RFID采用均衡策略.当 $\gamma \in (\bar{\gamma}_1, 1)$ 时:若 $c_t \in (0, \min(\bar{c}_{tm}^A, \bar{c}_{tr}^N))$ ,则NA情景是供应链的RFID采用均衡策略;若 $c_t \in (\min(\bar{c}_{tm}^A, \bar{c}_{tr}^N), \bar{c}_{tr}^N)$ ,则AA情景是供应链的RFID采用均衡策略.

进一步地,由定理1的1)可知,当 $\varphi \in (0, \bar{\varphi}]$ 且 $c_t \in (\bar{c}_{tr}^N, +\infty)$ 时,零售商与制造商决策相同.此时,若制造商采用RFID技术,则为AA情景;若制造商不采用RFID技术,则为NN情景,证明过程类似,此略.□

由定理2可见:双渠道供应链采用RFID技术的均衡策略受收益共享系数、渠道竞争强度和标签成本3个因素影响.当收益共享系数较小( $\varphi \in (0, \bar{\varphi}]$ )时,若制造商采用RFID技术,则零售商也将采用RFID技术,即AN情景不会是双渠道供应链采用RFID技术的均衡策略.进一步地,结合图1和图2可以发现:

1) 当RFID标签成本较小时:供应链的均衡策略为AA或NA取决于渠道竞争强度的大小,随着竞争强度的增加,供应链均衡策略由AA转变为NA,竞争强度特别大时,供应链均衡策略为AA.

2) 当RFID标签成本较高时:若收益共享系数很小( $\varphi \in (0, \bar{\varphi}']$ ),则供应链的均衡策略为NN,竞争强度对供应链均衡策略不产生影响;若收益共享系数适中( $\varphi \in (\bar{\varphi}', \bar{\varphi}]$ ),则供应链的均衡策略为AA或NN

取决于渠道竞争强度的大小. 当竞争强度较小时, 供应链的均衡策略为AA, 随着渠道竞争强度的增加, 供应链的均衡策略由AA转变为NN. 这是因为渠道竞争越激烈, 制造商越倾向于不采用RFID技术. 此外, 当RFID标签成本高于阈值  $c_t \in (0, \bar{c}_{tr}^N]$  时, 零售商将不采用RFID技术. 因此, 随着竞争程度的增加及RFID标签成本的上升, 双渠道供应链RFID采用均衡策略由AA转变为NN.

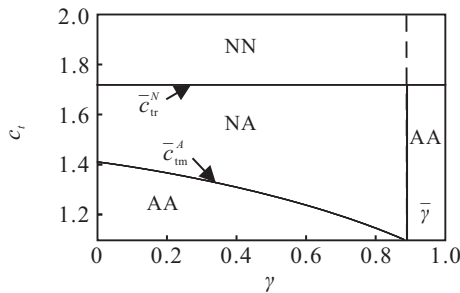


图1  $\varphi \in (0, \bar{\varphi}]$  时, 渠道竞争强度和标签成本对RFID均衡策略的影响 ( $\varphi = 0.1, \alpha = 0.08$ )

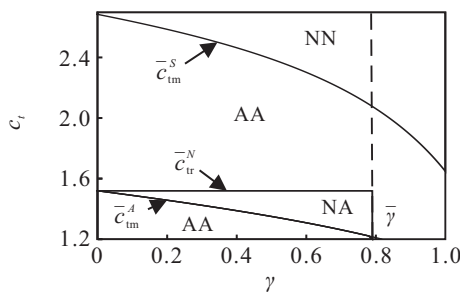


图2  $\varphi \in (\bar{\varphi}', \bar{\varphi}]$  时, 渠道竞争强度和标签成本对RFID均衡策略的影响 ( $\varphi = 0.4, \alpha = 0.08$ )

### 3.2.2 收益共享系数较大 ( $\varphi \in (\bar{\varphi}, 1)$ ) 时, 双渠道供应链RFID采用均衡策略

**定理3** 当  $\varphi \in (\bar{\varphi}, 1)$  时: ①  $\gamma \in (0, \bar{\gamma}_2]$  时: 若  $c_t \in (0, \bar{c}_{tm}^N]$ , 则AN情景为供应链的均衡状态; 若  $c_t \in (\bar{c}_{tm}^N, +\infty)$ , 则NN情景为供应链的均衡状态. ②  $\gamma \in (\bar{\gamma}_2, 1)$  时: 若  $c_t \in (0, \bar{c}_{tm}^O]$ , 则AN情景为供应链的子博弈均衡; 若  $c_t \in (\bar{c}_{tm}^O, \bar{c}_{tr}^N]$ , 则NA情景为供应链的均衡状态; 若  $c_t \in (\bar{c}_{tr}^N, +\infty)$ , 则NN情景为供应链的均衡状态. 其中

$$\bar{\gamma}_2 = \frac{2(a - c_m) + (7c_m - 10a)\alpha +}{2[(a - c_m) + (3c_m - 4a)\alpha +]} \rightarrow \leftarrow \frac{(14a - 6c_m)\alpha^2 + (3c_m - 4a)\alpha^3}{(5a - 2c_m)\alpha^2 + (c_m - 2a)\alpha^3},$$

$$\bar{c}_{tm}^O = T - \sqrt{T^2 + \frac{3 - 2\gamma}{2(1 - \gamma)} \left[ \left( a - \frac{c_m}{1 - \alpha} \right)^2 - (a - c_m)^2 \right]},$$

$$T = \frac{(3 - 2\gamma)(a - c_m) - (1 - \gamma)[a - c_m/(1 - \alpha)]}{2(1 - \gamma)},$$

$$\bar{c}_{tm}^N = a - c_m - \sqrt{[4(2 - \gamma^2)\pi_m^{NN*}]/(3 - 2\gamma)}.$$

定理3的证明过程与定理2类似, 此略.

由定理3可见: 当收益共享系数较大 ( $\varphi \in (\bar{\varphi}, 1)$ ) 时, 零售商不与制造商联合采用RFID技术. 这是因为收益共享系数过高时, 零售商给予制造商的收益过大, 从而引起自身利润的下降, 即AA情景不会是双渠道供应链采用RFID技术的均衡策略. 进一步地, 结合图3可以发现:

1) 当RFID标签成本较小时, 双渠道供应链RFID均衡策略为AN或NA取决于渠道竞争强度的大小, 随着渠道竞争强度增加, 制造商选择不采用RFID技术以降低成本, 从而双渠道供应链的均衡策略由AN转变为NA.

2) 当RFID标签成本较大时, 零售商不采用RFID技术, 此时双渠道供应链RFID的均衡策略为AN或NN取决于渠道竞争强度的大小, 当竞争强度较小时, 供应链的均衡策略为AN, 随着渠道竞争强度的增加, 供应链的均衡策略由AN转变为NN.

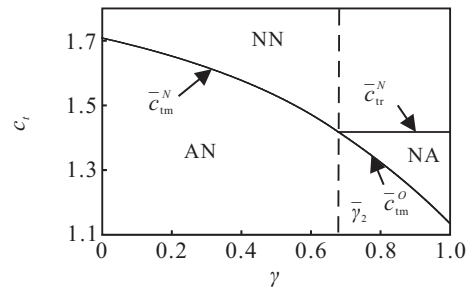


图3  $\varphi \in (\bar{\varphi}, 1)$  时, 渠道竞争强度和标签成本对RFID均衡策略的影响 ( $\varphi = 0.6, \alpha = 0.08$ )

## 4 结论

本文考虑由单个制造商和单个零售商组成的双渠道供应链结构, 供应链成员均存在库存错放问题, 针对链上成员是否采用RFID技术, 构建了4种收益模型, 分析得出了双渠道供应链成员的RFID采用均衡策略. 研究发现, 双渠道供应链RFID采用均衡策略主要受渠道竞争强度、收益共享系数和RFID标签成本的影响, 主要研究结论如下:

1) 渠道竞争强度对双渠道供应链采用RFID的均衡策略具有重要影响. 渠道竞争强度较小时, 双渠道供应链RFID均衡策略为AA; 竞争强度较大时, 双渠道供应链RFID均衡策略为NA. 随着渠道竞争强度的增大, 制造商倾向于不采用RFID技术.

2) 收益共享系数影响双渠道供应链成员采用RFID的均衡策略. 当收益共享系数低于阈值时, 零售商倾向与制造商联合采用RFID技术; 当收益共享系数高于该阈值时, 零售商不与制造商联合采用该技术可以获得更多收益, 即均衡策略为AN或NA情景. 此外, 收益共享系数越大, 制造商越倾向与零售商联合

采用RFID技术.

3) RFID单位标签成本可以看作是生产成本的增加,而采用RFID技术消除商品错放产生的效益可以理解成提高了单位商品的收益. 总体而言,当RFID成本较低时,供应链成员倾向采用RFID技术;当RFID成本较高时,供应链成员采用RFID获得的收益增量无法抵消RFID带来的成本增加,供应链成员可能放弃采用该技术. 这表明较低的RFID标签成本有助于双渠道供应链成员采用RFID技术.

本文仅研究制造商作为Stackelberg博弈领导者的情况,未来可以考虑研究零售商作为Stackelberg博弈领导者或制造商与零售商纳什博弈对双渠道供应链RFID采用策略的影响. 此外,本文采用确定性的需求函数进行建模分析,未来可以考虑研究市场需求不确定的情形.

#### 参考文献(References)

- [1] Xiao T J, Shi J. Pricing and supply priority in a dual-channel supply chain[J]. *European Journal of Operational Research*, 2016, 254(3): 813-823.
- [2] Tao F, Fan T, Lai K K, et al. Impact of RFID technology on inventory control policy[J]. *Journal of the Operational Research Society*, 2017, 68(2): 207-220.
- [3] Raman A, Dehoratius N, Ton Z. Execution: The missing link in retail operations[J]. *California Management Review*, 2001, 43(3): 136-152.
- [4] 张李浩, 杨斌. 基于RFID技术的标签成本分摊及投资策略[J]. *计算机集成制造系统*, 2016, 22(5): 1329-1338.  
(Zhang L H, Yang B. Adoption strategy and tag cost-sharing based on RFID technology[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2016, 22(5): 1329-1338.)
- [5] Rezik Y, Sahin E, Dallery Y. Analysis of the impact of the RFID technology on reducing product misplacement errors at retail stores[J]. *International Journal of Production Economics*, 2008, 112(1): 264-278.
- [6] Dehoratius N, Raman A. Inventory record inaccuracy: An empirical analysis[J]. *Management Science*, 2008, 54(4): 627-641.
- [7] Rezik Y, Sahin E, Dallery Y. Analysis of the impact of the RFID technology on reducing product misplacement errors at retail stores[J]. *International Journal of Production Economics*, 2008, 112(1): 264-278.
- [8] Xu J P, Jiang W, Feng G Z, et al. Comparing improvement strategies for inventory inaccuracy in a two-echelon supply chain[J]. *European Journal of Operational Research*, 2012, 221(1): 213-221.
- [9] Camdereli A Z, Swaminathan J M. Misplaced inventory and radio-frequency identification (RFID) technology: Information and coordination[J]. *Production and Operations Management*, 2010, 19(1): 1-18.
- [10] Fan T, Tao F, Deng S, et al. Impact of RFID technology on supply chain decisions with inventory inaccuracies[J]. *International Journal of Production Economics*, 2015, 159: 117-125.
- [11] Zhang L H, Li T, Fan T J. Radio-frequency identification (RFID) adoption with inventory misplacement under retail competition[J]. *European Journal of Operational Research*, 2018, 270(3): 1028-1043.
- [12] Li B, Hou P W, Chen P, et al. Pricing strategy and coordination in a dual channel supply chain with a risk-averse retailer[J]. *International Journal of Production Economics*, 2016, 178: 154-168.
- [13] 张学龙, 王军进. 制造商主导型双渠道供应链协调决策模型[J]. *控制与决策*, 2016, 31(8): 1519-1525.  
(Zhang X L, Wang J J. Supply chain coordination decision model of manufacture-led dual-channel supply[J]. *Control and Decision*, 2016, 31(8): 1519-1525.)
- [14] Hua G W, Wang S Y, Cheng T C E. Price and lead time decisions in dual-channel supply chains[J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 205(1): 113-126.
- [15] Cachon G. Supply chain coordination with Contracts[J]. *Handbooks in Operations Research & Management Science*, 2003, 11(11): 227-339.

#### 作者简介

张李浩(1990—), 男, 副教授, 博士生导师, 从事运营与供应链管理、博弈论等研究; E-mail: lh Zhang@shmtu.edu.cn;

吴志婷(1993—), 女, 硕士生, 从事供应链管理的研究, E-mail: 1032834061@qq.com;

范体军(1967—), 男, 教授, 博士生导师, 从事业务外包、逆向供应链等研究, E-mail: tjfan@ecust.edu.cn.

(责任编辑: 郑晓蕾)