

6-2-2020

## Complex Agent Network and Evolution Analysis for Multi-lingual Competition

Shouming Zhang

*1. College of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China; ;*

Qunxiu Yu

*1. College of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China; ;*

Guihong Bi

*2. College of Electric Power Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

# Complex Agent Network and Evolution Analysis for Multi-lingual Competition

## Abstract

**Abstract:** Dynamic social network model for the competition among languages with agent based modeling method and social circles theory was proposed. *The parameters of the topological structure of constructed social network were closer to the actual social network. The individual agents in the network can move, dead and reproduce, so the constructed social network was endowed with dynamic characteristics. Took the trilingual competition as an example, a theory was put forward which decomposes the individual competition into the three times of bilingual competition problems. Based on it, we presented a universal complex agent network method for multi-lingual competition and policy intervention. The model of learning and forgetting of the agents in the network was proposed.* It is used to study the individual language competition in different social environment evolution paths. The simulation results show that the presented model can describe the trilingual competition problem correctly.

## Keywords

microscopic modeling technology, multi-lingual competition, social circle network, complex network, agent

## Recommended Citation

Zhang Shouming, Yu Qunxiu, Bi Guihong. Complex Agent Network and Evolution Analysis for Multi-lingual Competition[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(3): 463-478.

## 多语竞争复杂 agent 网络语言竞争与演化分析

张寿明<sup>1</sup>, 于群修<sup>1</sup>, 毕贵红<sup>2\*</sup>

(1.昆明理工大学信息工程与自动化学院, 云南 昆明 650500; 2.昆明理工大学电力工程学院, 云南 昆明 650500)

**摘要:** 利用基于社会圈子理论的 agent 微观建模技术来构建语言竞争社会网络。构建的网络不仅拓扑结构参数更接近实际社会网络, 而且网络中的个体可以移动、死亡和新生, 具有动态特性。以三语竞争为例, 提出一种将网络中的个体间三语竞争分解为 3 个两种语言竞争问题的原理, 给出了一种基于双语竞争原理的通用多语竞争复杂 agent 网络仿真建模方法。给出了网络上的节点 agent 的学习和遗忘模型。利用建立的模型研究了在不同社会环境中个体的语言竞争演化路径。研究表明给出的模型正确模拟了三语竞争问题。

**关键词:** 微观建模; 多语竞争; 社会圈子; 复杂网络; agent

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2017) 03-0463-17

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201703001

## Complex Agent Network and Evolution Analysis for Multi-lingual Competition

Zhang Shouming<sup>1</sup>, Yu Qunxiu<sup>1</sup>, Bi Guihong<sup>2\*</sup>

(1. College of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;

2. College of Electric Power Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

**Abstract:** Dynamic social network model for the competition among languages with agent based modeling method and social circles theory was proposed. The parameters of the topological structure of constructed social network were closer to the actual social network. The individual agents in the network can move, dead and reproduce, so the constructed social network was endowed with dynamic characteristics. Took the trilingual competition as an example, a theory was put forward which decomposes the individual competition into the three times of bilingual competition problems. Based on it, we presented a universal complex agent network method for multi-lingual competition and policy intervention. The model of learning and forgetting of the agents in the network was proposed. It is used to study the individual language competition in different social environment evolution paths. The simulation results show that the presented model can describe the trilingual competition problem correctly.

**Keywords:** microscopic modeling technology; multi-lingual competition; social circle network; complex network; agent

## 引言

在中国, 随着社会的发展, 少数民族语言的多



收稿日期: 2015-06-15 修回日期: 2015-09-14;  
基金项目: 国家自然科学基金(61364022);  
作者简介: 张寿明(1966-), 男, 白族, 云南大理, 博士, 教授, 研究方向为复杂工业过程控制; 毕贵红(1968-), 男, 白族, 云南大理, 博士, 教授, 研究方向为社会和经济系统仿真。

样性正在遭受严峻的考验。为拯救濒危语言, 有必要对语言传播、竞争、调控的机理和动力学特性深入研究, 以揭示语言衰退、消亡和共存的原因, 进而寻求濒危语言保护和干预措施。社会仿真方法已经在文化版图空间演化和语言竞争等领域得到关注<sup>[1]</sup>。语言竞争与演化动力学研究主要利用系统动力学方法、复杂系统建模和仿真方法。语言作为一

个复杂适应性系统<sup>[2]</sup>, 同时语言交流传播的互动性, 决定了语言交流传播系统是个复杂的社会网络系统。可以用复杂适应性系统理论及其建模方法、复杂网络及其建模方法以及两者结合的方法来研究语言竞争模型及其动力学性质。包括: 微分方程双语竞争模型<sup>[3-5]</sup>、基于 agent 的双语竞争建模方法<sup>[6-7]</sup>和双语竞争复杂 agent 网络建模方法<sup>[8-13]</sup>。这些研究方法综合考虑了语言的社会结构、人口密度、语言地位以及双语因素对语言竞争影响, 但还存在如下问题: (1) 现有的语言交流复杂网络模型主要关注的是网络的拓扑结构特征, 以静态网络为基础, 而对网络结构随时间的变化关注甚少。真实的社会接触网络由于受到人员在区域内或区域间的流动使得网络拓扑结构特征发生变化, 是动态社会网络; (2) 现有的复杂 agent 网络模型仅限于两种语言即双语竞争的情形, 然而在现实世界中, 尤其像云南多民族的地方, 两种以上的语言在同一个地区竞争也是常见的, 且多语竞争动力学有其特殊性, 有必要研究复杂网络多语竞争模型。

Gilbert 和 Hamill<sup>[14]</sup>提出了一种基于 agent 的社会圈子网络理论来构建具有多种实际社会网络统计特征的社会网络生成方法, 它是一种基于微观个体行为生成社会网络的方法, 网络的生成和演化由 agent 来管理, 更加接近实际社会的运行机制, 可以灵活描述大规模社会网络时空耦合演化的机理。本文引入基于 agent 的社会圈子网络模型来研究个体行为和个体之间的语言传播构成的社会网络复杂 agent 网络模型, 网络上的节点 agent 可以断开原来的社会圈子里的关系, 移动到不同的位置在社会圈子内重新构建新的社会网络, 可以描述具有流动性的社会网络。个体在语言竞争网络中通过个体间的交流获得某种语言能力或者失去某种语言能力。为了研究多语言竞争及其特有的动力学机制及保护措施, 我们以三语竞争为例, 提出一种将网络中的个体间三语竞争分解为 3 个两种语言的竞争问题, 给出了一种基于双语竞争原理的通用多语竞争复杂 agent 网络仿真建模方

法; 研究网络上的节点 agent 的学习和遗忘模型; 研究在不同社会环境中个体的语言竞争演化路径: 每个个体通过学习获得第二或第三种语言成为双语者或三语者, 双语或三语个体因为遗忘重新成为单语或双语者, 形成个体为单语、双语和三语的复杂演化关系。

## 1 基于 agent 社会圈子理论的语言传播竞争网络模型

Gilbert 和 Hamill<sup>[14]</sup>提出一种基于 agent 的社会圈子网络理论来构建具有多种实际社会网络统计特征的社会网络生成方法, 网络中, agent 可以自己构建和管理社会关系, 灵活描述社会动态演化的机理。社会圈子网络中, 个体的网络规模由于社会半径的不同而产生差异、规模随时间动态变化; 网络中的社群人口密度较低、具有度度正相关性、可以形成社群结构并具有平均路径短的特性。微观语言竞争传播网络属于一种典型的社会网络, 社会圈子网络可以较完整的反映实际社会中语言竞争的特点, 所以, 社会圈子网络可以用来研究微观语言竞争网络模型。

社会网络模型可以被看作是一张社会地图, 显示了人在网络中的分布与联结<sup>[15]</sup>。网络中, 个体拥有长度不等的社会交流半径, 以个体自身为中心, 社会半径长度为半径作圆形成个体的社会圈子, 社会圈子大小的不同使个体交流范围产生差异。当两个个体中心点的连线的长度  $Q$  小于等于连线两端个体较小社会半径  $r$  时, 个体建立连接产生联系, 图 1(a)中  $Q > r$ , 所以不产生联系; 图 1(b)中  $Q < r$ , 所以两者建立连接。模型设置三种社会半径长度, 如图 1(c)所示, 随着社会半径的增加, 所能接触到的个体数目不断增加。在创建个体间联系时, 要求双方都认识对方才认为两者是认识的, 进而在两者之间产生连接, 如图 1(a)和图 1(b)所示。本文设置 3 种社会半径, 如图 1(c)所示, 当个体 agent<sub>i</sub> 的社会圈子为圈子 1 时, 有连接关系的个体个数为 4 个, 随着社会半径的增加, 社会圈子不断

扩大, 联系到的个体数目也在不断增加。现实社会中, 人的交往范围不尽相同, 如果个体的社交范围接近无限小, 那么认识其它个体的可能性几乎为 0; 反之, 个体之间全部有连接关系, 即朋友的朋友也是朋友。少数人的社会交往范围比大多数人的范围大很多。

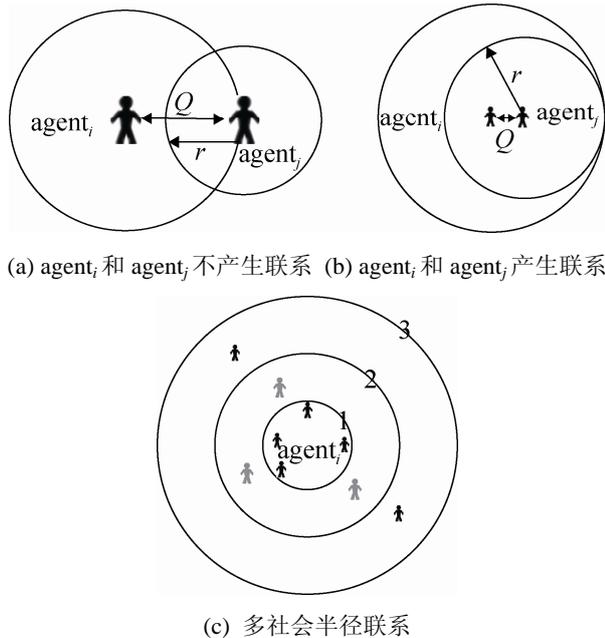


图 1 社会圈子中的联系情况  
Fig. 1 Links in social circles

社会圈子可以实现社会网络的动态特性, 通过引入短距离移动(日常短途移动)和长距离移动(长途旅行等)来模拟现实社会中人口的日常活动, 不同的日常活动会引起社会网络结构的变化。短距离移动代表个体在一个时间步长内移动一个单位长度的距离, 由于移动的距离较小, 所以人口的移动可能不会改变个体网络结构。图 2(a)中 agent<sub>i</sub> 移动到 A, 那么 agent<sub>i</sub> 的个体网络结构改变; 如果移动到 B, 由于仍在 agent<sub>i</sub> 的社交范围内, 所以 agent<sub>i</sub> 的结构不变。长距离移动代表个体在一个时间步长内移动大于自身社会半径的距离, 由于移动距离大于社会半径, 所以个体网络以及整体网络结构都将改变。图 2(b)中, agent<sub>i</sub> 从 A 移动到 B, 移动距离 L 超过自身社会半径 r, 所以 agent<sub>i</sub> 网络结构以及整体网络结构一定改变。

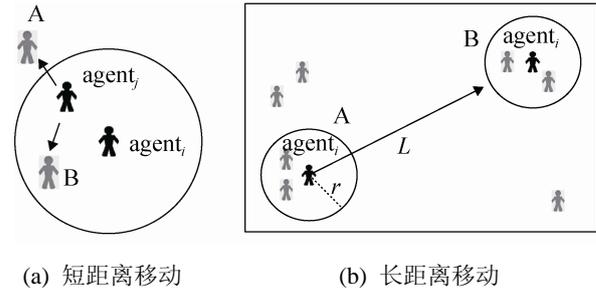


图 2 日常活动对个体网络以及整体网络的影响  
Fig. 2 The influence on the individual network and the whole network by daily activities

现实社会中, 人口的出生或死亡能够反映人口总数的动态变化, 本文设置出生率  $p_b$  以及死亡率  $p_d$  反映这一特征。网络中, 个体都以  $p_b$  的概率新生个体, 以  $p_d$  的概率死亡。个体的新生或死亡能使网络人口动态变化, 最终实现人口的动态平衡。基于社会圈子理论建立的动态语言网络示意图如图 3 所示。

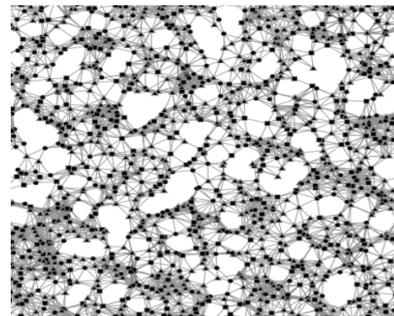


图 3 社会网络  
Fig. 3 Social network

## 2 双语竞争模型原理

Castelló 等<sup>[16]</sup>给出了基于两种语言竞争模型, 在一个有  $N$  个节点的网络中, 节点表示掌握某种语言的个体, 网络的边表示语言交流社会网络中个体的连接关系, 在网络中, 对于任意一个节点 agent<sub>i</sub> 有  $k_i$  个邻居。每一个 agent<sub>i</sub> 有 3 种可能的语言状态: A, agent 只掌握 A 语言; B, agent 只掌握 B 语言; AB, agent 使用双语, 即既可以讲 A 语言, 也可以讲 B 语言。

每一个个体 agent 都要按照一定的规则进行语言类型演化, 其演化公式如下:

$$\begin{cases} p_i(A \rightarrow AB) = S_B \cdot \sigma_i^B \\ p_i(B \rightarrow AB) = S_A \cdot \sigma_i^A \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} p_i(AB \rightarrow A) = S_A \cdot (1 - \sigma_i^B) \\ p_i(AB \rightarrow B) = S_B \cdot (1 - \sigma_i^A) \end{cases} \quad (2)$$

公式中的参数  $S_i (i = A, B)$  是语言的社会地位, 它代表了一种语言的威望以及给讲这种语言的个体 agent 带来的社会利益(比如对文化的发展, 个人和职业的提升, 国际性交流等等)。这个参数的最大值为 1, 最小值为 0, 而且  $S_A + S_B = 1$ 。  $\sigma_i^l$  为 agent 邻居社区所使用的语言密度。且  $l = A, B, AB$ ;  $i = 1 \dots N$ ;  $\sigma_i^A + \sigma_i^B + \sigma_i^{AB} = 1$  公式 (1) 给出了一个 agent 从一种单语(A 或 B)变成双语 AB 的转换概率; 公式(2)给出了一个 agent 从双语变成单语的转换概率。从中可以发现, 公式(1)的转换概率  $P_i$  与要学习语言的社会地位和它的密度有关; 公式(2)的转换概率  $P_i$  与保留下来的语言的社会地位和被遗忘语言的密度有关。Castelló 等<sup>[16]</sup>重点描述了  $S_A = S_B = 1/2$  时的情况。

需要注意的是, 从单语 A 变为单语 B 或者从单语 B 变为单语 A 总是意味着要通过双语社区这个中间步骤来实现。

由于  $\sigma_i^A + \sigma_i^B + \sigma_i^{AB} = 1$  且  $S_A + S_B = 1$ , 所以公式(2)也可以用另一组公式来表示语言竞争网络上节点双语变单语的状态演化关系, 公式如下:

$$\begin{cases} P_i(AB \rightarrow A) = S_A \cdot (1 - \sigma_i^B) = S_A \cdot (\sigma_i^A + \sigma_i^{AB}) = \\ (1 - S_B) \cdot (1 - \sigma_i^B) \\ P_i(AB \rightarrow B) = S_B \cdot (1 - \sigma_i^A) = S_B \cdot (\sigma_i^B + \sigma_i^{AB}) = \\ (1 - S_A) \cdot (1 - \sigma_i^A) \end{cases} \quad (3)$$

### 3 三语竞争模型原理

#### 3.1 三语竞争复杂 agent 网络

现实生活中多语言的竞争普遍存在, 中国是一个多民族的国家, 特别在云南等边疆地区三语及多语在一个地区进行交流很常见, 所以在两种语言竞争模型原理的基础上推广建立多语言的竞争模型来研究多语竞争与保护的的动力学问题很有必要。本文以三语为例, 给出多语言竞争的通用模型。在三

种语言竞争的模型中, 考虑了一个有  $N$  个节点的网络中有三种竞争语言, 分别是 A, B, C。在网络上, 对于任意一个节点初始有 3 种可能的语言状态: A, 只掌握 A 语言; B, 只掌握 B 语言; C, 只掌握 C 语言。通过网络中 agent 之间的学习, 可能使单语者学会第二种语言成为 3 种双语者之一, 即 AB、BC 和 AC; 双语 agent 通过学习又可能获得第 3 种语言成为三语者, 即 ABC。网络中的双语或三语 agent 也可能遗忘其中一种语言又成为单语者(A、B 或 C)或双语者(AB、BC 或 AC)。通过学习和遗忘, 网络中可能存在七种语言类型。从一种单语(如 A)变为另一种单语(如 C)中间要经过双语或者三语环节, 不能直接从一种单语变为另一种单语。所以网络中存在着复杂的语言演化路径。如图 4 所示。图中虚线为语言的遗忘方向, 实线为语言的学习方向。

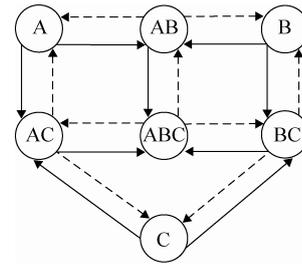


图 4 三语竞争 agent 语言状态演化关系

Fig. 4 The evolutionary relationship of agent language of trilingual competition

与双语竞争类似, 三语竞争网络中每个 agent 都按一定规则进行语言类型演化。在仿真过程中, 先从网络中随机选择一个 agent<sub>i</sub>, agent<sub>i</sub> 进行类型转化时需要计算网络上 agent<sub>i</sub> 的邻居中不同语言的语言密度:  $\sigma_i^l$  和语言地位  $S_A, S_B, S_C$  这些参数要满足:  $l = A, B, C, AB, AC, BC, ABC; i = 1 \dots N$ ;  $\sigma_i^A + \sigma_i^B + \sigma_i^C + \sigma_i^{AB} + \sigma_i^{AC} + \sigma_i^{BC} + \sigma_i^{ABC} = 1$ ;  $S_A + S_B + S_C = 1$ 。如果按照双语竞争类似解决, 三语竞争网络节点的语言类型转化如图 4 所示, 节点 agent 进行语言学习或遗忘并实施类型转化需要给出图 4 中的各种状态转移概率。这里我们提出一种将网络中的个体间三语竞争分解为 3 个两种语言的竞争问题的方法, 只需使用双语竞争的状态转移概率公式即可实现复杂网络三语竞争。

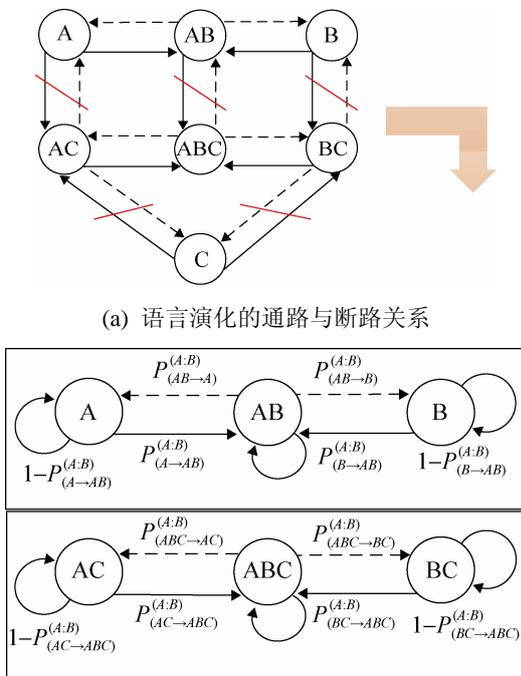
该方法容易推广到其他多语竞争情形, 是一种通用多语竞争复杂 agent 网络仿真建模方法。

### 3.2 基于双语竞争原理的三语竞争模型

语言是在语言竞争网络中通过交流获得某种语言能力或者因缺少交流机会失去某种语言能力。实际的语言交流环境中, 每次交流可以看作是网络中的个体选用 A、B 或 C 语言来进行两两交流实现语言习得和遗忘, 且两两交流的过程同步进行。

(1) A 语言与 B 语言竞争, C 语言不参与

网络中的节点假设只用 A 语言和 B 语言交流, 则说单语 C 的个体 agent 因为不会 A 或 B 语言无法参加交流, 不会对其他语言选用造成影响, 所以单语 C 在此次交流中可以忽略。忽略 C 语言时, 将 C 语言视为不存在, 同时将双语 AC 视为单语 A; 将双语 BC 视为单语 B; 三语 ABC 视为双语 AB。如图 5 所示, 单语 C 不参与语言的竞争, 与单语 C 相关的语言的学习及遗忘语言类型状态转移通道受阻, 图 5(a)的三语竞争语言类型状态转移关系分裂为图 5(b)的双语竞争语言类型状态转移关系。



(b) 与单语 A、B 相关的语言类型状态转移关系

图 5 三语竞争分解为双语竞争原理

Fig. 5 The decomposition principle of trilingual competition to bilingual competition

此时, 网络的语言密度满足:  $\sigma_A^{A:B} + \sigma_B^{A:B} + \sigma_C^{A:B} + \sigma_{AB}^{A:B} + \sigma_{AC}^{A:B} + \sigma_{BC}^{A:B} + \sigma_{ABC}^{A:B} = 1$ , (上标“A:B”为忽略 C 语言时的语言密度); 语言地位满足:  $S_{A1} + S_{B1} = 1$ 。如图 5(b)所示, 根据公式(1)的原理, 单语 A/B 按照一定的概率转化成双语 AB, 同时双语 AB 也按照一定的概率转化成单语 A/B; 双语 AC/BC 按照一定概率转化为三语 ABC, 三语 ABC 按照一定概率转化为双语 AC/BC。不满足转化概率则保持各自的语言状态不变。

此时单语 A/B 的学习及双语 AB 的遗忘公式如下:

$$\begin{cases} P_{(A \rightarrow AB)}^{(A:B)} = S_{B1} \cdot \sigma_B^{A:B} \textcircled{1} \\ P_{(B \rightarrow AB)}^{(A:B)} = S_{A1} \cdot \sigma_A^{A:B} \textcircled{2} \\ P_{(AB \rightarrow A)}^{(A:B)} = S_{A1} \cdot (\sigma_A^{A:B} + \sigma_{AB}^{A:B}) \textcircled{3} \\ P_{(AB \rightarrow B)}^{(A:B)} = S_{B1} \cdot (\sigma_B^{A:B} + \sigma_{AB}^{A:B}) \textcircled{4} \end{cases} \quad (4)$$

双语 AC/BC 的学习及三语 ABC 的遗忘公式如下:

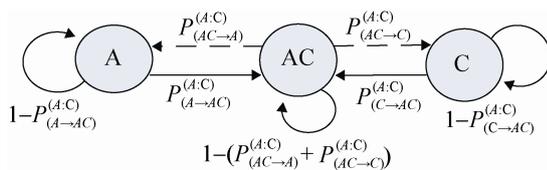
$$\begin{cases} P_{(AC \rightarrow ABC)}^{(A:B)} = S_{B1} \cdot \sigma_B^{A:B} \textcircled{1} \\ P_{(BC \rightarrow ABC)}^{(A:B)} = S_{A1} \cdot \sigma_A^{A:B} \textcircled{2} \\ P_{(ABC \rightarrow AC)}^{(A:B)} = S_{A1} \cdot (\sigma_{AC}^{A:B} + \sigma_{ABC}^{A:B}) \textcircled{3} \\ P_{(ABC \rightarrow BC)}^{(A:B)} = S_{B1} \cdot (\sigma_{BC}^{A:B} + \sigma_{ABC}^{A:B}) \textcircled{4} \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{其中: } \sigma_B^{A:B} &= \sigma_{BC}^{A:B} = \frac{\sum B +}{\sum A + \sum B + \sum AB +} \rightarrow \\ &\leftarrow \frac{\sum BC}{\sum AC + \sum BC + \sum ABC} = \frac{\sum B + \sum BC}{\sum Z - \sum C}; \\ \sigma_A^{A:B} &= \sigma_{AC}^{A:B} = \frac{\sum A +}{\sum A + \sum B + \sum AB +} \rightarrow \\ &\leftarrow \frac{\sum AC}{\sum AC + \sum BC + \sum ABC} = \frac{\sum A + \sum AC}{\sum Z - \sum C}; \\ \sigma_{AB}^{A:B} &= \sigma_{ABC}^{A:B} = \frac{\sum AB +}{\sum A + \sum B + \sum AB +} \rightarrow \\ &\leftarrow \frac{\sum ABC}{\sum AC + \sum BC + \sum ABC} = \frac{\sum AB + \sum ABC}{\sum Z - \sum C} \end{aligned}$$

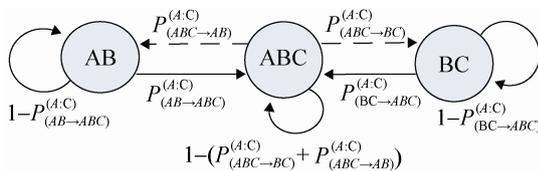
式中:  $\sigma_i^{A:B}$  为忽略 C 语言时 agent<sub>i</sub> 的语言密度;  $\sum A, \sum B, \sum C, \sum AB, \sum AC, \sum BC, \sum ABC$  分别为与 agent<sub>i</sub> 相连的掌握语言 A、B、C、AB、AC、BC、ABC 的 agent 个数;  $\sum Z$  为与 agent<sub>i</sub> 相连的 agent 总数。

(2) A 语言与 C 语言竞争, B 语言不参与

与忽略 C 语言时的语言竞争模式相同, 忽略 B 语言时, 将 B 语言视为不存在。同时将双语 AB 视为单语 A; 将双语 BC 视为单语 C; 三语 ABC 视为双语 AC。与单语 B 相关的语言的学习及遗忘通道将闭塞。此时, 网络的语言密度  $\sigma_A^{A:C} + \sigma_B^{A:C} + \sigma_C^{A:C} + \sigma_{AB}^{A:C} + \sigma_{AC}^{A:C} + \sigma_{BC}^{A:C} + \sigma_{ABC}^{A:C} = 1$ , 语言地位  $s_{A2} + s_{C1} = 1$ 。根据公式(1), 单语 A/C 按照一定的概率转化成双语 AC, 同时双语 AC 也按照一定的概率转化成单语 A/C; 双语 AB/BC 按照一定概率转化为三语 ABC, 三语 ABC 按照一定概率转化为双语 AB/BC。不满足转化概率则保持各自的语言不变。参照公式(4)和(5)不难给出图 6 中的各状态转移概率公式, 在此忽略。



(a) 单语 A/C 的学习及双语 AC 的遗忘



(b) 双语 AB/BC 的学习及三语 ABC 的遗忘

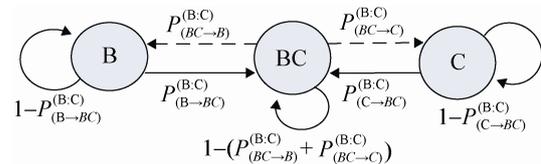
图 6 三语竞争网络中的 A 与 C 语言竞争关系

Fig. 6 The competitive relationship of A and C language in trilingual competition network

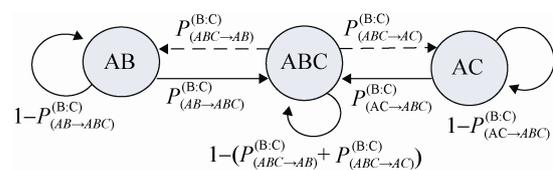
(3) B 语言与 C 语言竞争, A 语言不参与

与前面两次语言竞争原理相同, 忽略 A 语言时, 将 A 语言视为不存在。同时将双语 AB 视为单语 B; 将双语 AC 视为单语 C; 三语 ABC 视为双语 BC。与单语 B 相关的语言的学习及遗忘通道将闭塞。此时, 网络的语言密度满足:  $\sigma_A^{B:C} + \sigma_B^{B:C} + \sigma_C^{B:C} + \sigma_{AB}^{B:C} + \sigma_{AC}^{B:C} + \sigma_{BC}^{B:C} + \sigma_{ABC}^{B:C} = 1$  (上标 "B:C" 为忽略 A 语言时的语言密度); 语言地位满足:  $s_{B2} + s_{C2} = 1$ 。根据公式(1), 单语 B/C 按照一定的概率转化成双语 BC, 同时双语 BC 也按照一定的

概率转化成单语 B/C; 双语 AB/AC 按照一定的概率转化成三语 ABC, 三语 ABC 按照一定的概率转化成双语 AB/AC。不满足转化概率则保持各自的语言不变。参照公式(4)和(5)不难给出图 7 中的各状态转移概率公式, 在此忽略。



(a) 单语(B/C)学习/双语(BC)遗忘模型



(b) 双语(AB/AC)学习/三语遗忘模型

图 7 三语竞争网络中的 A 与 C 语言竞争关系

Fig. 7 The competitive relationship of A and C language in trilingual competition network

## 4 人工网络社会演化仿真流程

1. 建立 agent 并初始化三种单语人口比例: 创建  $N$  个 agents 并随机分布在  $200 \times 200$  的二维空间网络内, 并分配三种单语者的人口比例 ( $NA\%$ ,  $NB\%$ ,  $NC\%$ ), 3 种人口比例之和为 1, 即  $NA\% + NB\% + NC\% = 1$ 。

2. agent 属性设置: 设置三组语言的社会地位,  $S_{A1} + S_{B1} = 1$ ,  $S_{A2} + S_{C1} = 1$ ,  $S_{B2} + S_{C2} = 1$ 。分别给 3 种单语设置语言地位; 设置小、中、大 3 种社会半径 ( $R_S, R_M, R_B$ ), 并分配 3 种社会半径的人口比例 ( $NofR_S\%$ ,  $NofR_M\%$ ,  $NofR_B\%$ ), 3 种人口比例之和为 1, 即  $NofR_S\% + NofR_M\% + NofR_B\% = 1$ 。

3. 设置人口流动比例及死亡率: 在已建立好的三种语言竞争网络模型中, 设置一定比例的个体属性为日常短途流动 ( $x_{DM}$ ), 及日常长途流动 ( $x_{LM}$ ) 并设置一定比例的死亡概率  $p_d$ 、出生概率 ( $p_b$ )。

4. 生成社会网络: agents 根据各自的社会半径, 利用社会圈子原理建立社会网络 (如图 3 所示)。

5. 个体的语言交流: 在建立好的网络模型中,

个体通过学习和遗忘两种方式进行语言的交流。该部分的流程描述如下:

(1) 忽略语言 C, 只考虑 A 与 B 之间的竞争, 网络上的节点 agent 根据状态转化图 5 及其状态转移概率实现类型转化。

(2) 忽略语言 B, 只考虑 A 与 C 之间的竞争, 网络上的节点 agent 根据状态转化图 6 及其状态转移概率实现类型转化。

(3) 忽略语言 A, 只考虑 B 与 C 之间的竞争, 网络上的节点 agent 根据状态转化图 7 及其状态转移概率实现类型转化。

6. 网络动态更新: 规定 agent 的出生率等于死亡率( $p_b=p_d$ ), 死亡个体断开之前的连接, 新生 agent 按照社会圈子原理生成新的连接。Agent 根据移动概率进行移动, 当个体间连接的长度同时大于链两端个体的社会半径时, 连接断开, 否则保持连接, 断开之后的个体又会与其它个体按照社会圈子原理重新建立连接, 形成新的社会网络。随着时间的更新, 重复执行步骤 5~6。

## 5 仿真结果分析

本文模型以 NetLogo<sup>[17]</sup>为平台, 主要分析了社会地位对语言竞争的影响。多语社会, 如有 A, B, C 三种语言的社会。通过语言兼用会出现单语(A, B, C)、双语(AB, AC, BC)及三语(ABC)7 种语言的人群。为了分析语言地位对语言传播的影响, 分情况进行模拟分析对比, 每个类型的实验在相同初始条件下重复 20 次, 通过求均值得到最终实验结果。个体所处环境设定为 200×200 的网格空间。表 1 为具体参数。

### 5.1 三种单语 A、B、C 处于相同的语言地位下, 网络中各种语言的变化趋势

第一个试验中, 网络中三组语言地位参数为:  $S_{A1}=0.5, S_{B1}=0.5; S_{A2}=0.5, S_{C1}=0.5; S_{B2}=0.5, S_{C2}=0.5$ 。3 组语言地位表明 3 种单语 A、B、C 的语言地位相同,  $S_A=S_B=S_C$ 。同时, 我们给定以下计算因子:  $N=2$

000,  $NA\%=33.33\%, NB\%=33.33\%, NC\%=33.33\%$ ,  $R_S=22, R_M=23, R_B=25, NofR_S\%=33.33, NofR_M\%=33.33, NofR_B\%=33.33$ 。7 种语言的变化趋势如图 8 所示。

表 1 模型可调控参数和值

参数	初始值	描述
$N$	1 000	个体总数
$NA\%$	45%	单语 A 所占人口比例
$NB\%$	45%	单语 B 所占人口比例
$NC\%$	10%	单语 C 所占人口比例
$R_S$	10	三种社会半径最小者
$R_M$	15	三种社会半径居中者
$R_B$	20	三种社会半径最大者
$NofR_S\%$	50	小社会半径所占人口比例
$NofR_M\%$	30	中社会半径所占人口比例
$NofR_B\%$	20	大社会半径所占人口比例
$S_{A1}$	0.5	忽略 C 语言, 单语 A 的社会地位
$S_{B1}$	0.5	忽略 C 语言, 单语 B 的社会地位
$S_{A2}$	0.5	忽略 B 语言, 单语 A 的社会地位
$S_{C1}$	0.5	忽略 B 语言, 单语 C 的社会地位
$S_{B2}$	0.5	忽略 A 语言, 单语 B 的社会地位
$S_{C1}$	0.5	忽略 A 语言, 单语 C 的社会地位
$x_{DM}$	10%	短距离移动人口比例
$x_{LM}$	5%	长距离移动人口比例
$P_b$	0.5	出生率
$P_d$	0.5	死亡率

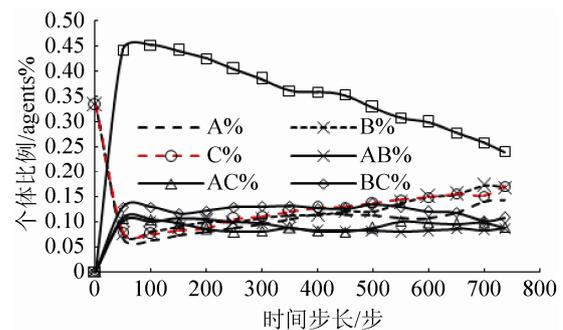
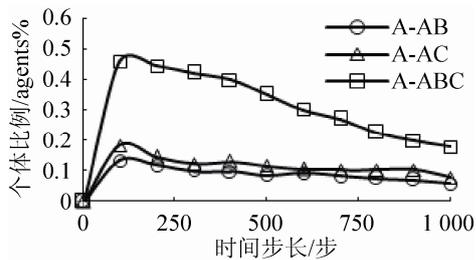


图 8 三种单语 A,B,C 相同语言地位的语言演化趋势  
Fig. 8 The language evolution trend of the three monolingual A,B and C in the same language status

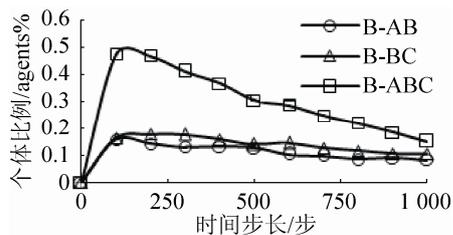
图 8 为相同语言地位和相同人口比例条件下的语言竞争与演化趋势的实验结果。从图中可以看出, 前 50 步模拟时长, 三语 ABC 人数快速增长, 很快达到了整个人口比例的约 45%; AB、AC 和 BC 双语人口的比例增长趋势基本相近, 约

10%~13%左右达到峰值；同时三种单语的人数快速减少，约在5%左右达到最小值。究其原因：公式(4)和(5)中的式①和②可以看出，个体习得另一种语言是由该种语言的地位和该种语言密度来确定，由于三种语言为随机混合居住，因此每个单语个体的语言密度基本相等，加上语言地位相等、人口比例相同，所以相互学习的机会相等，大量的个体习得除母语之外的另一种语言成为双语者，进而习得两种语言成为三语者。此时网络中单语的个数在迅速减少，反过来影响网络中个体进一步演化为双语或三语的力量。这种演化趋势表现在此后的50~700步左右，双语人口比例变动较小。而由于网络中个体分布的不均匀性，三语和单语并不能一直保持不变，三语中有部分通过遗忘演化为单语，三语有逐渐减少的趋势，而单语有逐渐增加的趋势，所以三语比例、双语比例和单语比例并非长久稳定不变，但是在一定的实验时间范围三种单语比例和三种双语比例的演化趋势相同，没有任何一种语言表现出特殊性。

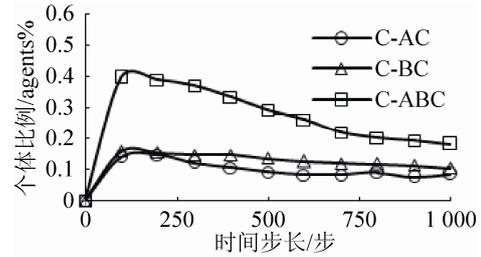
为了进一步观察网络中七种语言类型(单语 A、B、C、双语 AB、AC、BC 及三语 ABC)之间的复杂演化路径，如图9所示，我们给出了每种单语演化为双语和三语的变化曲线；图10给出了演化为三语和每类双语的单语源。



(a) 单语 A 演化为双语和三语的比例曲线



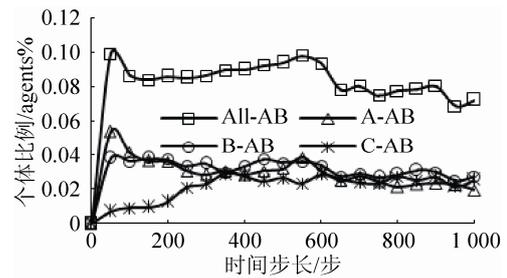
(b) 单语 B 演化为双语和三语的比例曲线



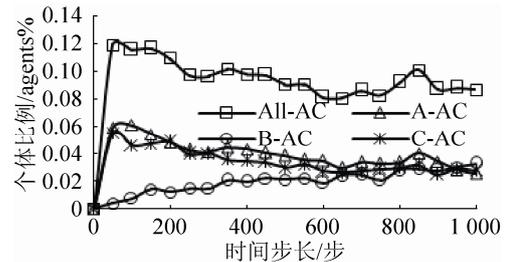
(c) 单语 C 演化为双语和三语的比例曲线

图9 单语演化为双语或三语的比例

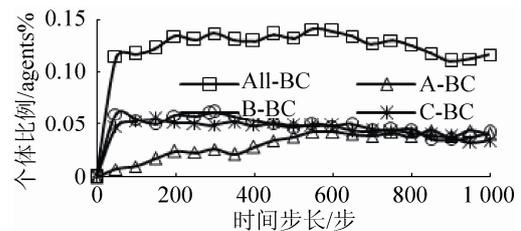
Fig. 9 The proportion of monolingual evolve into bilingual or trilingual



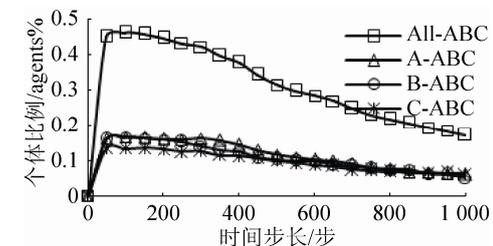
(a) 演化为双语 AB 的源语比例曲线



(b) 演化为双语 AC 的源语比例曲线



(c) 演化为双语 BC 的源语比例曲线



(d) 演化为三语 ABC 的源语比例曲线

图10 转化为双语/三语的单语源比例

Fig. 10 The proportion of monolingual source translation into bilingual or trilingual

从图 9 的(a)、(b)和(c)可以看出, A 转化为 ABC、B 转化为 ABC 和 C 转化为 ABC 的趋势基本相同; A 转化为 AB 或 AC(图(a))、B 转化为 AB 或 BC(图(b))以及 C 转化 AC 或 BC(图(c))的趋势基本相同。从图 10 的(a)、(b)和(c)可以看出, 所有的双语(AB、AC 和 BC)均由单语 A、B 和 C 转化而来。图 10(a)显示双语 AB 开始主要由单语 A 或单语 B 转化而来, 而单语 C 由于要先转化为三语 ABC, 再转化为 AB, 所以开始时 C 转化为 AB 的情况较少, 过了 600 步计算机迭代之后, 三种单语转化为 AB 双语的趋势基本相同。如图 10(b)和图 10(c)所示, 相同的趋势也发生在三种单语转化为 AC 或 BC 双语情形。而图 10(d)则表明三语 ABC 均由单语 A、B 和 C 转化而来, 三种单语转化为三语的趋势基本一致。

上述现象的产生是由于三种单语的语言地位相同且人口比例相同决定的, 这也从一方面验证了此模型的正确性。当同一环境中同时存在多种语言且所有语言地位相同时, 在一定时间范围会出现以下现象: (1) 说不同单语的 agents 比例近乎相同; (2) 不同的单语兼用其他单语成为双语 agents 的比例也近乎相同; (3) 存在较大比例的的三语或多语者。

## 5.2 语言地位 $A=B>C$ 时, 网络中各种语言的变化趋势

第二个试验中, 网络中三组语言地位参数为:  $S_{A1}=0.5, S_{B1}=0.5; S_{A2}=0.6, S_{C1}=0.4; S_{B2}=0.6, S_{C2}=0.4$ 。同时, 我们给定以下计算因子:  $N=2\ 000, NA\%=40\%, NB\%=40\%, NC\%=20\%, R_S=22, R_M=23, R_B=25, NofR_S=50, NofR_m=30, NofR_B=20$ 。上述三组语言地位表明单语 A、B 的语言地位相同且大于 C 的语言地位, 即  $S_A=S_B>S_C$ 。同时 A、B 的人口比例也相同且大于 C 的人口比例, 所以在本次试验中 A、B 为强势语言, C 为弱势语言。

从图 11 可以看出在此种情形下弱势语言 C 最

终在网络中趋于灭亡, 留下强势语言单语 A 和 B 及其双语 AB。从发展阶段来看, 在前约 70 步模拟时间, 弱势语言 C 由于习得强势语言 A 和 B 的机会相同, C 大部分快速转化为三语 ABC, 同时有少量转化为双语 AC 和 BC, 所以单语 C 呈快速下降趋势, 而且很快趋于消亡。人口少、地位低的语言处在其他强势语言环境中只能尽快掌握强势语言才能较好地交流。而强势语言 A 和 B 转化为弱势语言 AC 和 BC 的情形是极小的, 但是 A 与 B 之间有相同的相互转化概率, 所以在前 70 步计算机迭代中, 双语 AB 人口急剧增加, 单语 A 和 B 以相同的趋势快速减少。在 70 步左右双语和三语均达到最大值, 三种单语则达到最小值。在此以后, 弱势语言 C 很难以 ABC、AC 或 BC 的形式共存于网络中。ABC、AC 或 BC 由于 A 和 B 对其转化的引力较大, 通过遗忘大部分转化为单语 A 和 B。计算机迭代的 1 200 步左右, 单语 C 只有极少量存在于 ABC 三语中。在此阶段, 由于单语 A、B 人口比例的增加, 甚至有部分双语 AB 也有部分通过遗忘转化为单语 A 和 B, 所以双语 AB 的比例有缓慢的下降趋势。

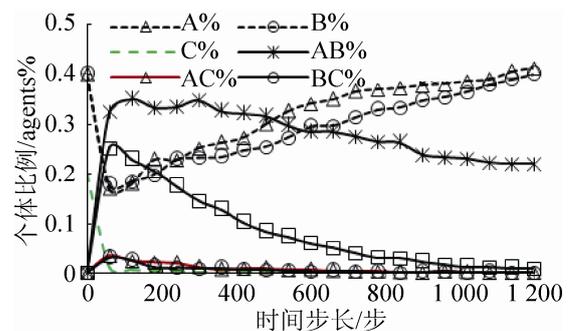
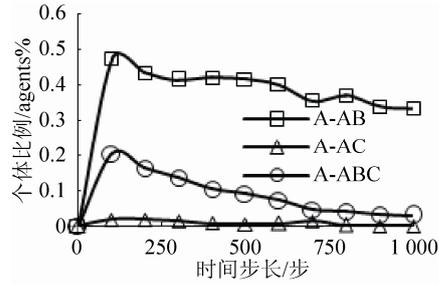
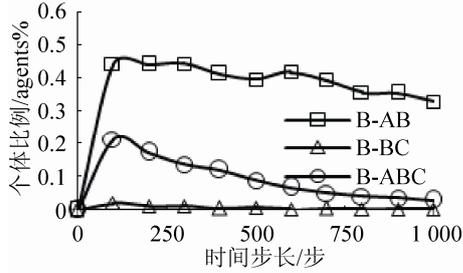


图 11 七种语言所占比例变化趋势  
Fig. 11 Trends in the proportion of seven languages

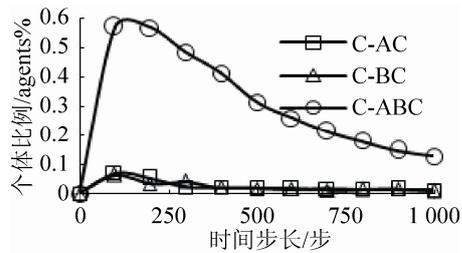
为了进一步观察此种试验条件下网络中七种语言类型(单语 A、B、C、双语 AB、AC、BC 及三语 ABC)之间的复杂演化路径, 如图 12 所示, 我们给出了每种单语演化为双语和三语的变化曲线; 图 13 给出三语和每类双语的演化源单语。



(a) 单语 A 演化为双语和三语的比例曲线



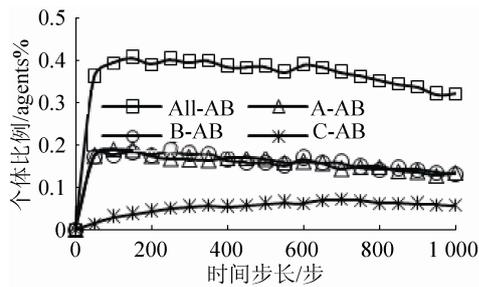
(b) 单语 B 演化为双语和三语的比例曲线



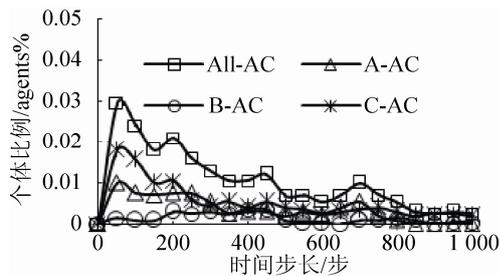
(c) 单语 C 演化为双语和三语的比例曲线

图 12 单语转化为双语或三语的比例

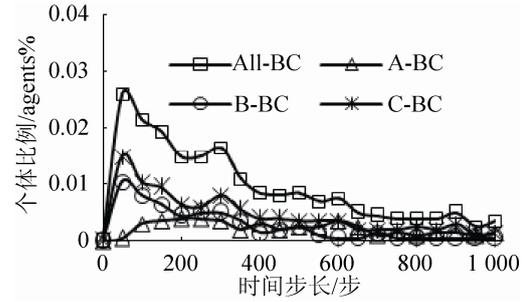
Fig. 12 The proportion of monolingual translation into bilingual or trilingual



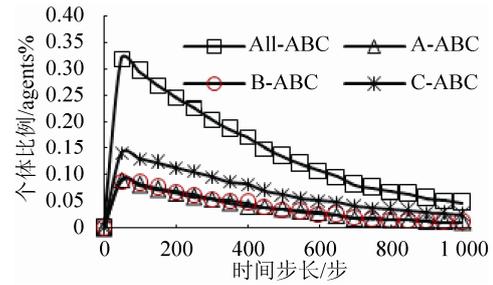
(a) 演化为双语 AB 的源语比例曲线



(b) 演化为双语 AC 的源语比例曲线



(c) 演化为双语 BC 的源语比例曲线



(d) 演化为双语 ABC 的源语比例曲线

图 13 转化为双语/三语的单语源比例

Fig. 13 The proportion of monolingual source translation into bilingual or trilingual

从图 12(a)中可以看出, A 语言转化为 AB 语言比例最高, 其次转化为 ABC 语言, 转化为 AC 语言比例最小, 说明强势语言兼用弱势语言的情况较少, 从图(b)也能得到相同的结论。从图(c)可以看出, 单语 C 转化为 ABC 的情况最多, 转化为 AC 或 BC 的情形较少, 且趋势基本相同, 在两种强势语言包围下, 弱势语言 C 只有同时掌握两种强势语言才能较好地进行交流, 只掌握一种强势语言交流较为困难。

从图 13(a)可以看出, 网络中的双语 AB 主要来源于单语 A 和单语 B, 且两单语转化为 AB 的趋势相同。单语 C 转化为 AB 的情形开始少量增加, 后期保持一定水平, 但比 A、B 转化为 AB 的比例小得多。从图 13(b)可以看出, 网络中双语 AC 比例整体较小, 在此基础上, 单语 C 转化为 AC 的比例最大, 此为弱势语言兼用强势语言。而强势语言 A 兼用弱势语言 C 成为 AC 的比例要比前者小, 强势单语 B 通过兼用 A 和 C 成为三语 ABC 进而转用为双语 AC 的情形最小, 实际中出现一种强势语言转用另一种强势语言或弱势语言也是极少见的。

从图 13(c)可以看到, BC 双语的演化来源与 AC 具有相同的规律, 因为网络中 A、B 的语言竞争力相同。从图 13(d)可以看出, 网络中三语 ABC 主要由单语 C 转化而来, 因为弱势语言需要兼用强势语言来增加交流机会, 单语 A 和 B 同时兼用两种语言转化为 ABC 的情形则比弱势语言 C 同时兼用两种语言的情形小。两种强势语言通过相互兼用就可实现绝大部分语言交流, 这与实际情况是相符的。

由此可见, 第二个试验条件下, 语言演化的规律主要为: 弱势语言兼用两种强势语言成为三语, 也有少部分兼用一种强势语言成为双语; 强势语言兼用弱势语言的情形极少, 强势语言通过相互兼用或者保持母语不变即能达到共存; 弱势语言 C 尽管通过兼用一种或两种强势语言得到了一定程度的保存, 但是随着时间流逝, 兼用语言者逐渐放弃母语转用一种或两种强势语言, 网络中弱势语言最终趋于灭亡。

### 5.3 语言地位 $A>B=C$ 时, 网络中各种语言的变化趋势

第三个试验中, 网络中三组语言地位参数设定为:  $S_{A1}=0.6$ ,  $S_{B1}=0.4$ ;  $S_{A2}=0.6$ ,  $S_{C1}=0.4$ ;  $S_{B2}=0.5$ ,  $S_{C2}=0.5$ 。同时, 我们给定以下计算因子:  $N=2\ 000$ ,  $NA\%=40\%$ ,  $NB\%=30\%$ ,  $NC\%=30\%$ ,  $R_S=22$ ,  $R_M=23$ ,  $R_B=25$ ,  $NofR_S\%=50$ ,  $NofR_M\%=30$ ,  $NofR_B\%=20$ 。上述参数表明, 该试验条件下的语言网络, 存在一种强势语言 A 和两个人口比例及语言地位相同的 B、C 语言, B、C 两种语言竞争力相同且都为弱势语言, 即  $S_A>S_B=S_C$ 。

从图 14 明显可以看出各种语言类型的演化趋势分为三个阶段: 计算机迭代的前 80 步左右为第一阶段; 之后至 800 步左右为第二阶段; 800 步之后为第三段。第一阶段, 三种单语呈下降趋势(图中虚线所示, 其中单语 B 及单语 C 的变化曲线近乎吻合), 因为这段时间里竞争力相同的两个弱势语言 B 和 C 快速兼用强势语言 A 成为双语者 AB、AC, 同时强势语言 A 在这阶段也会有一部分兼用弱势语言 B 或 C, 双语者 AB 和 AC 比例快速增加;

弱势语言 B 和 C 相互之间的吸引力显然小于强势语言 A 对两种弱势语言的吸引力, 所以 B 和 C 相互兼用成为 BC 的机会小于其他双语的情形。在此阶段, 强势语言对双语 BC 的引力也较大, 促使 BC 中较大部分进一步兼用 A 成为三语 ABC, 而双语 AB 或 AC 也有部分进一步受到单语 B 或 C 的吸引从而兼用 C 或 B 成为三语 ABC, 所以这个阶段网络中的单语 B、C 和 A 越来越少, 而三语 ABC 增长最快, 双语 AC 或 AB 次之, BC 最慢。

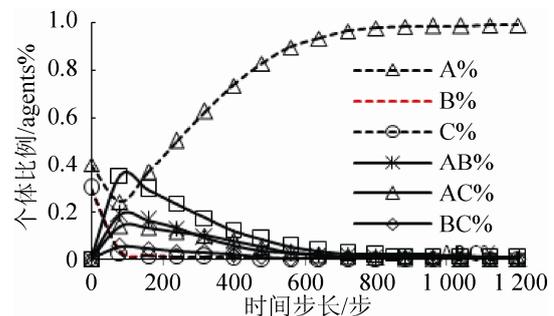
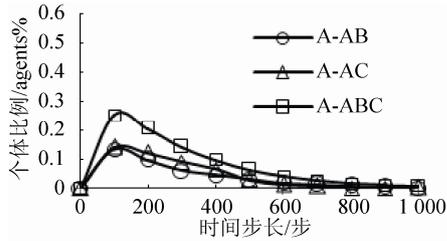


图 14 7 种语言所占比例变化趋势

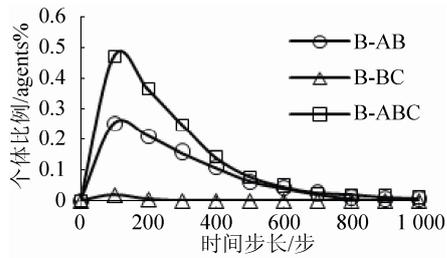
Fig. 14 Trends in the proportion of seven languages

在第二阶段, 网络中的单语 B 和 C 比例极小, 加上语言地位低, 对其他类型个体进一步兼用 B 或 C 的吸引力最小; 相反, 网络中还有较多的单语 A 存在, 加之 A 语言地位高, 对其他语言的吸引力最大, 所以三语 ABC 会逐渐舍弃 B 和 C, 进而转用为单语 A; 双语 AB、AC 逐渐舍弃 B 或 C 转用为单语 A; 双语 BC 通过兼用 A 成为三语 ABC 后进一步舍弃 B 和 C 成为单语 A。所以这一阶段, 三语和双语都在转用单语 A, 四条曲线均呈下降趋势, 单语 A 获得了优势逐渐呈增长趋势, 约 800 步左右绝大部分弱势语言个体完成了语言转用; 少数弱势语言保留者无法继续保持两种弱势语言, 网络中语言竞争进入第三阶段, 强势语言 A 最终成为网络中语言的主宰者。

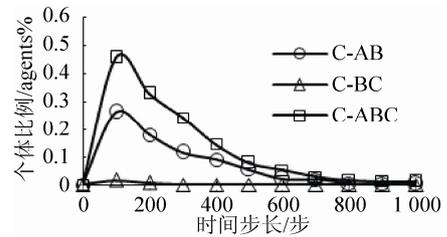
为了进一步观察此种试验条件下网络中七种言语类型(单语 A、B、C、双语 AB、AC、BC 及三语 ABC)之间的复杂演化路径, 如图 15 所示, 我们给出了每种单语演化为双语和三语的变化曲线; 图 16 给出了三语和每类双语的演化源单语。



(a) 单语 A 演化为双语和三语的比例曲线



(b) 单语 B 演化为双语和三语的比例曲线



(c) 单语 C 演化为双语和三语的比例曲线

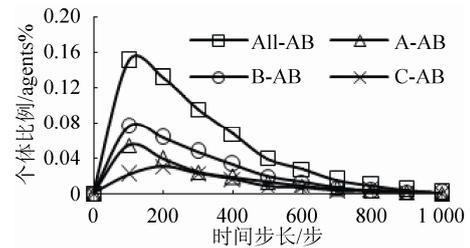
图 15 单语转化为双语或三语的比例

Fig. 15 The proportion of monolingual translation into bilingual or trilingual

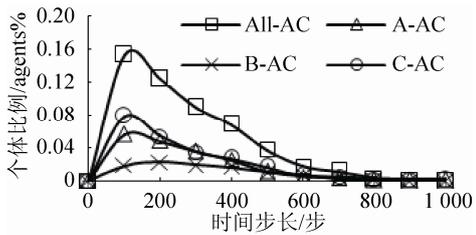
从图 15 中可以明显看出网络中语言的兼用情况,图(a)中,ABC 比例高于 AB 或 AC,但是与(b)或(c)比较可以发现,A 兼用弱势语言(B 或 C)或者同时兼用 BC 的能力小于弱势语言 B 或 C 兼用 A 或者同时兼用 C 和 B 的能力,即语言兼用主要发生在弱势语言中。而且从图(b)或(c)可以看出,由于 B 或 C 两者地位相同人口比例相同,B 或 C 兼用 A 成为 AB 或 AC 的情形相同,进一步兼用两种语言成为 ABC 三语的情形也相近,B 或 C 相互兼用的情形最少,趋势相同。

从图 16(a)可以看出,双语 AB 分别来自于 B 兼用 A,A 兼用 B 或者 C 通过兼用和转用成为 AB,并且弱势 B 兼用 A 的比例高于强势 A 兼用 B 的比例。而 C 最终成为 AB,中间要先通过兼用成为三语 ABC,再放弃 C 成为 AB,所以比例最低。从图 16(a)和(b)比较可以看出,总的双语 AB 或 AC

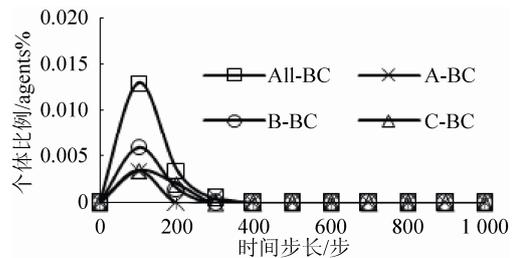
比例变化趋势相同,单语 A、B 或 C 演化为 AC 的趋势与图(a)中 A、B 或 C 演化为 AB 的趋势相同,因为 B 和 C 在网络中的所处的竞争态势相同。从图 16(c)可以看出,网络中双语 BC 的人数较少,大部分来源于 B 或 C 的相互兼用。从图(d)可以看出,网络中的三语 ABC 主要由 B 或 C 演化而来,而且两者的演化比例趋势相同,A 演化为 ABC 比例要小于前两者,也就是弱势语言兼用两种语言的比例高于强势语言兼用两种弱势语言的比例。



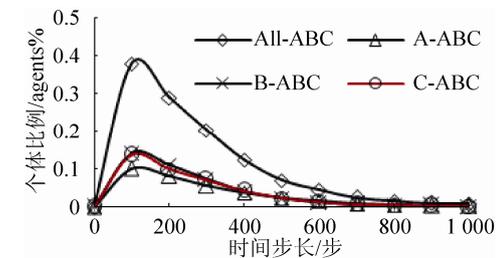
(a) 演化为双语 AB 的源语比例曲线



(b) 演化为双语 AC 的源语比例曲线



(c) 演化为双语 BC 的源语比例曲线



(d) 演化为双语 ABC 的源语比例曲线

图 16 转化为双语/三语的单语源比例

Fig. 16 The proportion of monolingual source translation into bilingual or trilingual

由此可见, 第三个试验情形下, 即存在一种强势语言和两种竞争能力相同的弱势语言。网络中的语言演化结果为: 只有一种强势语言存在, 两种弱势语言灭亡。演化的主要规律为: 两种弱势语言兼用强势语言及互相兼用, 其中兼用双语成为三语的比例最多, 只兼用一种单语成为双语(AB、AC)的比例低于三语者比例且趋势相同。B 或 C 相互兼用的最少; 网络中单语 A 开始也有部分参与演化为双语或三语, 但是比较而言其比例远低于弱势语言演化为双语或三语; 弱势语言只能试图通过兼用强势语言来共存, 但是随着网络中单语 B 或 C 比例的减小, 单语 A 相对吸引力增加, 这些三语或双语放弃一种或两种弱势语言转用为单语 A, 最终网络中只剩下一种优势语言 A。

#### 5.4 语言地位 $A>B>C$ 时, 网络中各种语言的变化趋势

第四个试验中, 网络中三组语言地位参数设定为:  $S_{A1}=0.6$ ,  $S_{B1}=0.4$ ;  $S_{A2}=0.7$ ,  $S_{C1}=0.3$ ;  $S_{B2}=0.6$ ,  $S_{C2}=0.4$ 。三组语言地位表明三种单语 A、B、C 的语言地位各不相同, 即  $S_A>S_B>S_C$ 。同时, 我们给定以下计算因子:  $N=2\ 000$ ,  $NA\%=40\%$ ,  $NB\%=40\%$ ,  $NC\%=20\%$ ,  $R_S=22$ ,  $R_M=23$ ,  $R_B=25$ ,  $NofR_S\%=50$ ,  $NofR_M\%=30$ ,  $NofR_B\%=20$ 。上述参数表明, 该试验条件下的语言网络, 除了存在一个强势语言 A 和一个弱势语言 C 外, 该区域由于人口、文化和经济等因素, 还存在一个人口较多具有较强语言竞争力的亚强势语言 B。在云南多民族杂居区, 除了汉语一种强势语言外, 通常与汉语杂居的其他两种少数民族语言中, 往往会有一种为该区域的亚强势语言。

从图 17 明显可以看出各种语言类型的演化趋势分为三个阶段: 前 80 步左右为第一阶段; 之后至 500 步左右为第二阶段; 500 步之后为第三段。第一阶段, 三种单语呈下降趋势(图中虚线所示), 单语 C 语言地位最低, 人数最少, 所以强势语言 A 和亚强势语言 B 对单语 C 吸引力较大, C 开始快

速兼用 A 演化为 AC, 同时也会有部分兼用 B 演化为 BC; A 和 B 相互之间也有较大吸引力, A 和 B 相互兼用演化为 AB。此时单语 A 对 BC 仍有很强的吸引力, BC 中的大部分会快速兼用 A 演化为 ABC; 亚强势语言 B 也会对双语 AC 具有一定的吸引力, AC 也会有部分进一步兼用 B 演化为 ABC; 单语 C 对 AB 的吸引力很小, AB 兼用 C 的情形很少。从语言兼用演化结果来看, AB 比例最高, ABC 次之, AC 和 BC 最小, AC 又比 BC 大。

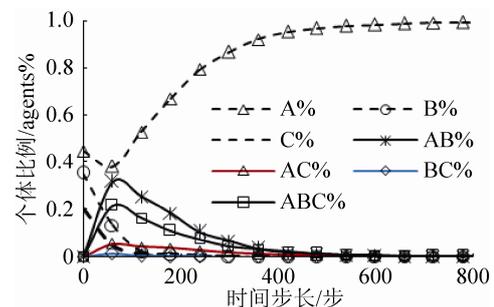
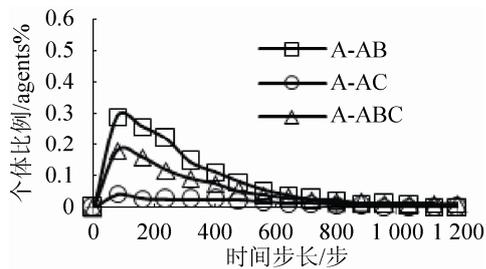


图 17 七种语言所占比例变化趋势  
Fig. 17 Trends in the proportion of seven languages

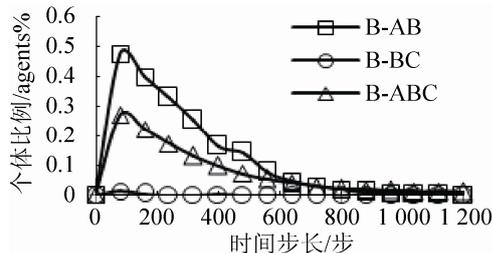
在第二阶段, 网络中的单语 C 基本兼用了一种或两种语言, 只有极少数单语 C 存在。虽然单语 B 也有大部分通过兼用演化为 AB、ABC 或 BC, 但相比弱势语言 C, 单语 B 存活时间比 C 较长。经过兼用阶段后, 网络中还有较多的单语 A 存在, 加之 A 语言地位高, 对其他语言的吸引力最大, 所以三语 ABC 会逐渐舍弃 B 和 C, 进而转用为单语 A; 双语 AB、AC 逐渐舍弃 B 或 C 转用为单语 A; 双语 BC 通过兼用 A 成为三语后会进一步舍弃 B 和 C 成为单语 A。所以这一阶段, 三语和双语都在转用单语 A, 四条曲线均呈下降趋势, 单语 A 获得了优势逐渐呈增长趋势, 约 600 步左右绝大部分弱势语言完成了语言转用, 即少数弱势语言保留者无法继续保持两种弱势语言, 网络中语言竞争进入第三阶段, 强势语言 A 最终成为网络中语言的主宰者。

为了进一步观察此种实验条件下网络中七种语言类型(单语 A、B、C、双语 AB、AC、BC 及三语 ABC)之间的复杂演化路径, 如图 18 所示,

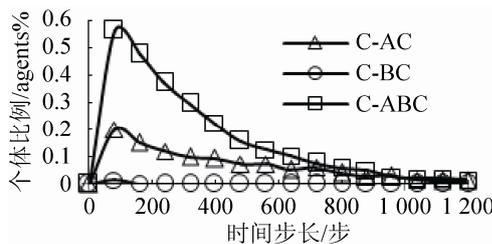
我们给出了每种单语演化为双语和三语的变化曲线；图 19 给出了三语和每类双语的演化源单语。



(a) 单语 A 演化为双语和三语的比例曲线



(b) 单语 B 演化为双语和三语的比例曲线



(c) 单语 C 演化为双语和三语的比例曲线

图 18 单语转化为双语或三语的比例

Fig. 18 The proportion of monolingual translation into bilingual or trilingual

从图 18(a)中可以看出，强势语言 A 兼用 B 演化为 AB 的比例最高，同时兼用 B、C 演化为 ABC 的比例次之，只兼用 C 演化为 AC 的比例最低。强势语言 A 要么只兼用亚强势语言 B，要么同时兼用 B 和 C，只兼用弱势语言 C 的情形，只能发生在少数局部单语 C 集中的区域。从图(b)中可以发现，B 兼用 A 演化为 AB 的比例最高，同时兼用 A、C 演化为三语 ABC 的比例次之，只兼用弱势语言 C 演化为 BC 的比例最低，因为 BC 会进一步被单语 A 吸引演化为 ABC。从图(c)中可以发现，弱势语言 C 同时兼用强势语言 A 和亚强势语言 B 演化为 ABC 的比例最高，其次是 C 只兼用强势语言 A

演化为 AC，同样亚强势语言 B 只兼用弱势语言 C 演化为 BC 的比例最低；因为 BC 会被强势单语 A 所吸引进一步演化为 ABC，只能在局部地区保留稳定的 BC。三者比较：强势语言 A 主要兼用亚强势语言 B；亚强势语言 B 主要兼用强势语言 A，或者部分同时兼用 C；而 C 弱势语言则以同时兼用强势语言 A 和亚强势语言 B 为主，少部分则只兼用 A；C 通过兼用演化为 ABC 的比例比 B 通过兼用演化为 ABC 的比例高；B 通过兼用演化为 ABC 的比例则高于 A 演化为 ABC。由此可见，弱势语言往往通过兼用更高语言地位的语言来实现在同一区域的语言交流，所以兼用语言的能力也最强。

四川盐源县位于滇川两省交界,是个多民族杂居的县。居住的民族有彝、汉、蒙古、藏、纳西、傈僳、回、普米等 21 个民族，其中人口最多的是彝族、汉族、蒙古族和藏族。2005 年人口统计表明，彝族占全县总人口的 47.67%，汉族占全县总人口的 44.36%，蒙古族占全县总人口的 5.37%，藏族占全县总人口的 1.89%。多民族杂居带来了多种语言并用的语言现状。其共同点主要表现为：盐源的彝、蒙古、藏、纳西等民族，除了稳定使用自己的母语外，基本都能兼用汉语，有的还能兼用其他少数民族的语言。双语、多语并用互补，充分满足了各民族的语言交际需要<sup>[14]</sup>。但是，双语和三语兼用的情况与人口聚居的程度密切相关。如表 2 所示的盐源县泸沽湖镇山南村的实际语言使用状况调研表明<sup>[18]</sup>：以强势语言汉语、亚强势语言摩梭语为主和弱势语言藏语人数极少的社区，亚强势语言和弱势语言几乎都兼用了强势语言汉语(摩梭人和藏族兼用汉语的比例为 95%以上)，而强势语言和亚强势语言兼用弱势语言的比例极少(汉族兼用藏语的比例不到 5%，摩梭人兼用藏语的比例也仅为 30%左右)，所以语言从下至上的兼用比例远高于从上至下的兼用比例，语言越是弱势兼用其他语言的种类和比例就越高，说明模型反映的情形与实际的语言竞争态势是一致的。

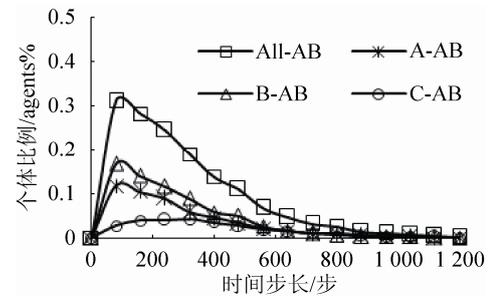
表 2 强势语言为主的多语社区族语言竞争实例  
Tab. 2 The competitive examples of native language in multi-lingual community with dominating language

民族	语言	熟练%	略懂%	不懂%
个案: 汉族	汉语	100	0	0
小聚居、大杂居村-泸沽湖镇山南村(人口数: 蒙古族 > 汉族 > 藏族 >)	汉族 兼用摩梭语	38.7	22.9	38.4
	兼用藏语	0.5	4	95.5
蒙古族	蒙古族 兼用汉语	100	0	0
	兼用藏语	10.7	23.1	66.1
藏族 > 汉族 > 藏族 >)	藏族 兼用汉语	93.8	6.2	0
	兼用摩梭语	98.5	0	1.5
	兼用摩梭语	95.4	4.6	0

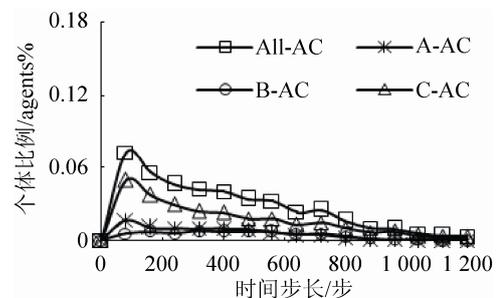
从图 19(a)可以看出, 双语 AB 分别来自于单语 B 兼用 A, A 兼用 B, 并且弱势 B 兼用 A 的比例高于强势 A 兼用 B 的比例, 而 C 最终成为 AB 的情形要经过兼用成为三语 ABC 的中间过程, 再放弃 C 成为 AB, 所以比例最低。从图 19(b)可以看出, 弱势语言 C 兼用强势语言 A 的比例高于强势语言兼用弱势语言 C 的比例; 而 B 最终成为 AC 的情形因为中间要经过同时兼用 A 和 C 成为三语 ABC, 再放弃 B 成为 AC, 所以比例最低。从图 19(c)可以发现, 相对弱势的语言 B 与完全弱势的语言 C 之间相互兼用的比例整体极少, 并且由于强势语言 A 保留在网络中比例较高, BC 进一步会演化为 ABC。从图 19(d)可以看出, C 演化为 ABC 的比例在所有单语演化为 ABC 的比例当中, 人数最高, 其次为 B 演化为 ABC 的比例, A 演化为 ABC 的比例最低。总之, 弱势语言兼用两种语言的情形比例高于强势语言兼用两种弱势语言的比例, 双语兼用则以强势语言和亚强势语言相互兼用为主, 表现出弱势语言具有更强的语言兼用能力。

所以, 第四个试验情形下, 网络中的语言演化结果为: 只有一种强势语言存在, 两种弱势语言灭亡, 亚强势语言灭亡时间比弱势语言晚。演化的主要规律为: 强势语言和亚强势语言互相兼用演化为双语 AB; 弱势语言则以同时兼用强势语言和亚强势语言演化为 ABC 为主, 表现出弱势语言具有更强的语言兼用能力; 网络中单语 A 开始也有部分参与演化为双语或三语, 但是相对较少; 亚强势语

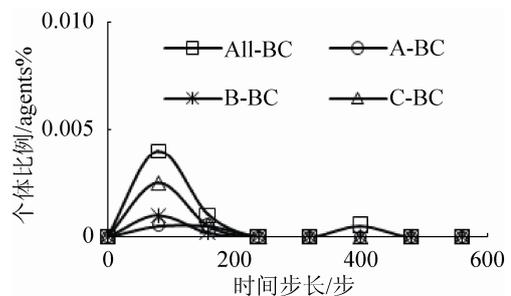
言和弱势语言只能试图通过兼用更强势语言来共存; 但是随着网络中单语 B 或 C 比例的减小, 单语 A 相对吸引力增加, 这些三语或双语放弃一种或两种弱势语言转用为单语 A, 最终网络中只剩下一种优势语言 A。



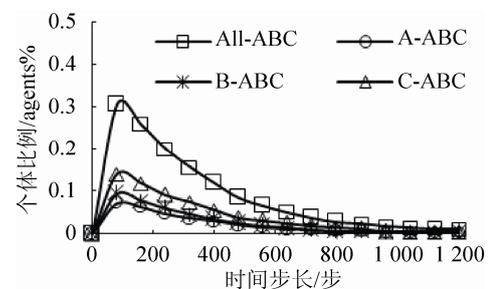
(a) 演化为双语 AB 的源语比例曲线



(b) 演化为双语 AC 的源语比例曲线



(c) 演化为双语 BC 的源语比例曲线



(d) 演化为双语 ABC 的源语比例曲线

图 19 转化为双语/三语的单语源比例

Fig. 19 The proportion of monolingual source translation into bilingual or trilingual

## 6 结论

本文从社会网络角度给出多语演化的定量解释,模型框架为进一步研究多语竞争提供了一个可行的新方法。仿真实验中通过调整语言地位和人口比例的大小分析对语言传播的影响,得到以下实验结果:(1) 三种单语的语言地位相同且人口比例相同的条件下:说不同单语的 agents 比例近乎相同;不同的单语兼用其他单语成为双语的 agents 比例也近乎相同;存在较大比例的三语或多语者;(2) 存在两种相同的强势语言和一种弱势语言的条件下:弱势语言兼用两种强势语言成为三语,少部分兼用一种强势语言成为双语;弱势语言逐渐放弃母语转用一种或两种强势语言;强势语言间通过相互兼用或者只保持母语达到共存;网络中弱势语言趋于灭亡,两种强势语言的演化趋势相同;(3) 存在一种强势语言和两种竞争能力相同的弱势语言的条件下:网络中的语言演化结果只有一种强势语言存在,两种弱势语言灭亡,两种弱势语言的演化趋势相同;(4) 存在一种强势语言、一种亚强势语言和一种弱势语言的条件下:网络中的语言演化结果只有一种强势语言存在,两种弱势语言灭亡,亚强势语言灭亡时间比弱势语言晚;(5) 4 种实验结果正确反映了不同实验条件对语言竞争的影响,与实际语言竞争的状况相一致。仿真结果验证了社会学者定性研究结论,说明了本模型的正确性。语言保护的艰巨性和紧迫性,需要多重措施并举来解决,本模型将用来进一步分析不同政策调控措施对语言保护的影响。

### 参考文献:

- [1] 云健,刘向东,刘勇奎.文化认同及文化版图演化现象的社会计算模型[J].计算机研究与展,2013,50(12):2590-2602. (Jian Yun, Xiangdong Liu, Yongkui Liu. Computational Modeling of Social Phenomenon: Evolution of Cultural Identity and Cultural Territory [J]. Journal of Computer Research and Development, 2013, 50(12): 2590-2602.)
- [2] Beckner C, Blythe R, Bybee J, et al. Language is a Complex Adaptive System: Position Paper [J]. Language

- Learning (S0023-8333), 2009, 59(S1): 1-26.
- [3] Abrams D M, Strogatz S H. Modeling the Dynamics of Language Death [J]. Nature (S0028-0836), 2003, 424(2): 151-158.
- [4] Mira J, Paredes A. Interlinguistic Similarity and Language Death Dynamics [J]. Europhysics Letters (S0295-5075), 2005, 69(6): 1031-1034.
- [5] Minett J W, Wang W S Y. Modeling Endangered Languages: the Effects of Bilingualism and Social Structure [J]. Lingua (S0024-3841), 2008, 118(1): 19-45.
- [6] Kandler A, Steele J. Ecological Models of Language Competition [J]. Journal of Biological Theory (S1555-5542), 2008, 3(2): 164-173.
- [7] Vazpuez F, Castelló X, Migual M S. Agent Based Models of Language Competition: Macroscopic Descriptions and Order-Disorder Transitions [J]. Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment (S1742-5468), 2010(2): 147-167.
- [8] Stauffer D, Castelló X, Eguíluz V M, et al. Microscopic Abrams-Strogatz Model of Language Competition [J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications (S0378-4371), 2007, 374(2): 835-842.
- [9] Castelló X, Eguíluz V M, Miguel M S. Ordering Dynamics with Two Non-excluding Options: Bilingualism in Language Competition [J]. New Journal of Physics (S1367-2630), 2006, 8(12): 308-322.
- [10] Li X, Chen G. A Local-world Evolving Network Model [J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications (S0378-4371), 2003, 328(1/2): 274-286.
- [11] 王超,毕贵红,张寿明,等.基于 Agent 社会圈子网络的语言竞争模型[J].计算机应用,2014,34(8):2202-2208. (Wang Chao, Bi Guihong, Zhang Shouming, et al. Agent based language competition model with social circles network [J]. Journal of Computer Application, 2014, 34(8): 2202-2208.)
- [12] 张国宁,沈寿林,朱江,等.联合战斗的复杂网络多 Agent 建模与仿真研究[J].计算机仿真,2010,27(3):16-22. (Guoning Zhang, Shoulin Shen, Jiang Zhu, etc. Research on Complex Network Multi-agent Modeling and Simulation of Joint Combat [J]. Computer Simulation, 2010, 27(3): 16-22.)
- [13] 吴忠杰,张耀中,杜支强,等.复杂网络理论下军事体系对抗的研究进展[J].复杂系统与复杂性科学,2014(2):52-61. (Zhongjie Wu, Yaozhong Zhang, Zhiqiang Du, et al. The Research Process of CNT-Based Military Forces System of Systems [J]. Complex Systems and Complexity Science, 2014(2): 52-61.)

(下转第 486 页)

<http://www.china-simulation.com>