

基于 Agent 社会圈子网络的语言竞争模型

王超¹, 毕贵红^{2*}, 张寿明¹, 韦春桃¹

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

(* 通信作者电子邮箱 km_bgh@163.com)

摘要: 语言传播网络是一种典型的社会网络, 语言网络的结构和动态性对语言的竞争与传播具有重要影响。鉴于此特点, 提出以同一地区的语言竞争现象作为研究对象, 利用基于 Agent 的社会圈子网络来构建更能接近实际的语言网络。社会网络中个体网络的结构参数和整体网络的参数都具有良好的社会网络特点。网络中的 Agent 可以被赋予不同大小的社会圈子, Agent 可以在网络中移动、新生和死亡, 进而引起社会网络旧关系的断开和新关系的建立。网络中的 Agent 的语言类型代表了单语 X、单语 Y 和双语 Z(单语 X 和单语 Y) 三类, 语言的传播模型为横向传播和纵向传播。在分析了语言地位、吸引因子、横纵向传播的最高比例、语言的人口比例对语言竞争影响的基础上, 重点分析了社会交往半径和社会流动性对语言竞争的影响。仿真结果表明, 与静态社会网络模型相比, 所提模型更加贴近实际社会, 能够有效提高语言之间共存的可能性, 为研究濒危语言的保存提供一个较好的环境。

关键词: Agent; 语言竞争; 社会圈子; 动态网络; 语言共存

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

Agent-based language competition model with social circle network

WANG Chao¹, BI Guihong^{2*}, ZHANG Shouming¹, WEI Chuntao¹

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

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

Abstract: Language transmission network is a typical social network, the structure and dynamics of language networks have a significant impact on competition and the spread of the language. Therefore, using the language competition in the same area as the object of study, and then the paper proposed an Agent-based social circles network to build the social network closer to the actual language. The whole network parameters and structural parameters of individual networks have good social network characteristics. Agents in the network could be distributed to a social circles of different size. They can move, born and die, which led to the disconnection of previous links and the establishment of new contacts. Each Agent adopted one of three possible states: monolingual language in X, monolingual language in Y and bilingual language in Z, and transmitted horizontally and vertically. On the basis of the analysis of the language status, attractive parameter, the peak rate of horizontal and vertical transmission, the proportion of speakers on the impact of language competition, the article analyzed the impact of social interaction radius and social mobility on language competition. The simulation results indicate that compared with the static social network model, the proposed model is closer to the actual society, and it can effectively increase the likelihood of coexistence between languages, provides a better environment for the study of the preservation of endangered language maintenance.

Key words: Agent; language competition; social circle network; dynamic network; language maintenance

0 引言

通过几千年的历史文化的演变, 到目前为止世界已经累积了近 6000 种语言。在全球范围内, 已经有超过 750 种语言灭绝, 还有许多语言也只有少数的使用者^[1]。联合国估计, 目前世界上现存语言中, 有一半的语言只有不到一万名使用者, 四分之一的语言只有不到一千名使用者, 并且除非采取有效措施, 否则在一个世纪之内这些语言(至少 3000 种)都要灭亡。目前中国少数民族语言的多样性正在遭受严峻的威胁。

为了拯救濒危语言, 有必要对语言传播、竞争和调控的机制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。现如今的研究模型主要分为基于微分方程的语言竞争动力学模型、基于 Agent 的微观建模方法、基于复杂网络的语言交流模型和基于 Agent 的复杂网络动态演化语言交流模型。

Abrams 等^[2]提出了一个简单的确定性系统动力学方程, 来描述在一个人群中两种语言竞争引起的语言使用模式变化情况。其目的是利用模型解释濒危语言历史和数据中语言数量减少的规律, 进一步给出语言濒危的定量指标, 以期在语

收稿日期: 2014-04-03; 修回日期: 2014-05-03。 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61364022)。

作者简介: 王超(1989-), 男, 湖南益阳人, 硕士研究生, 主要研究方向: 复杂系统和复杂网络建模与仿真; 毕贵红(1968-), 男, 云南石林人, 教授, 博士, 主要研究方向: 社会与经济系统仿真; 张寿明(1966-), 男, 云南大理人, 教授, 博士, 主要研究方向: 复杂系统智能控制; 韦春桃(1988-), 女, 广西桂林人, 硕士研究生, 主要研究方向: 复杂网络建模与仿真。

言濒危早期采取有效的语言保护方案。Patriarca 等^[3]扩展了 AS (Abrams-Strogatz) 模型,模型考虑了语言传播受到说话者扩散的影响因素,并在 AS 模型中引入了空间依赖关系,并扩展为扩散-反应方程。Pinasco 等^[4]扩展了 AS 模型,模型描述了两种语言在同一竞争区域共存的机制,模型中引入了一个附加的 Logistic 人口增长变量。Kandler 等^[5]在文献[4]方法的基础上将人口增长和空间扩散的人口学因素包含进反应-扩散系统中,同时考虑了两种语言的不同社会地位。Mira 等^[6]对 AS 模型作了存在双语者的扩展,模型中两种语言可部分相互理解,允许单语言者转变为双语者。Minett 等^[7]用稍微不同的方式在模型中引入了双语者模型,双语者可以同时说两种语言,所以共包含 3 种说话者人群。

基于 Agent 的微观建模方法也得到了越来越多研究者的注意。Kosmidis 等^[8]提出了一个类似 Agent 建模方法——蒙特卡洛方法来研究两种语言竞争问题;Castell6 等^[9]通过研究理想网络(如小世界网络、无标度网络等)中的语言交流传播过程去间接了解实际的语言交流传播过程与真实社会接触网络结构特征之间的关系。除了理想网络之外,研究者们还提出了一些更为复杂的网络模型,比较有代表性的如具有层次网络模型(如文献[7])和具有社群结构的网络模型等(如文献[10])。

现有的这些基于复杂网络的语言交流模型研究主要关注的是网络的拓扑结构特征,如小世界特征、无标度特性、高聚类特征和网络的模块性等对语言交流传播的影响,一方面这些研究构造的语言传播网络与实际社会网络有较大的差距,而且很难用社会理论来解释;另一方面对网络结构随时间的变化关注甚少,也就是说,这些研究基本上都是以静态网络为基础的。而真实的社会接触网络由于受到人员日常行为不断变化的驱动,必然是一个动态演化的过程,这种演化过程将使得网络拓扑结构特征发生变化,从而影响到其上的语言交流传播过程。

Hamill 等^[11]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。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,该模型能很好地体现语言网络中的这些特点:

1) 社会圈子网络中的个体网络参数和整体网络参数都更接近实际,个体网络参数具有异质性、度胖尾分布、高聚类系数及随时间变化等特点;整体网络参数具有低密度、度-度相关性、社群结构以及短路径等特点。

2) 通过为个体设置不同的社会半径可以改变社会圈子的大小,而社会半径大的个体有可能连接到其他小团体,形成圈子之间的弱连接,并且社会半径大的个体之间倾向于互相连接,可以表达人们社会交往圈子和社会网络复杂的社群和层次结构的异质性。

3) 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。

本文在社会圈子网络的社会结构基础上引入 Minett 等^[7]的模型中个体之间的语言传播模型,来研究复杂现实社会网络条件下的语言竞争和保护问题,同时加入现实社会可能会出现波动因素以及人口的流动,体现其动态流动性。

1 社会圈子网络模型

基于社会圈子的网络是由 Hamill 等^[11]提出,社会圈子网络模型用个体在二维空间中的位置来代表它在现实社会中所处的地理位置;认为两个个体在二维空间中位置越近,它们的联系就越紧密。个体的社会圈子表示其社交范围,即个体认识处于它的社会圈子内的其他个体,社会圈子的大小用它的社会半径来描述。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,如图 1 所示。

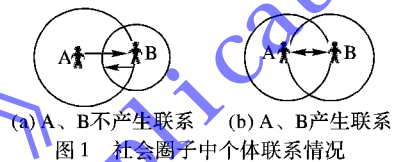


图1 社会圈子中个体联系情况

如图 1(a) 所示,如果 A 的社会半径比 B 大,那么 B 包含在 A 的圈子中,可以看作为 A 认识 B,但是 B 不认识 A;如图 1(b) 所示,两个个体的社会半径相同,那么 A 和 B 相互认识。如果社会半径被设置得非常低,那么个体的圈子就会很小,它可能认识的个体几乎就没有,网络的密度就趋向于 0;相反,如果社会半径很大,网络的密度就趋向于 1。现实社会中,每个人的社会圈子大小是不同的,少数人的圈子要比其他人的大得多。为了体现个体的这种差异性可以设置 2 种或 3 种具有不同社会半径的个体种类,本文设置了 3 种社会半径。

复杂网络的实证研究表明社会网络具有如下特点:1) 个体网络规模有限且有差异、聚类系数较高和规模随时间变化。2) 整体网络密度低、具有度连接的相关性、社群结构和短路径长度等特点。社会圈子网络比之前常用的 4 种网络模型——规则网络、随机网络、小世界网络和无标度网络能更好地表现实际中复杂社会网络的特点。因为这 4 种网络模型在体现社会网络的特性方面存在缺陷,导致它们都不是很好的社会网络模型。表 1 总结了这 4 种基本网络模型的特点。

表 1 4 种网络的基本特点^[11]

网络特点	规则网络	随机网络	小世界网络	无标度网络
个人网络有限性	√	√	√	×
个人网络的不同的大小	×	一定条件满足	一定条件满足	√
低密度	√	√	√	√
胖尾分布	×	×	×	√
正度相关性	×	×	×	×
高聚集性	√	×	√	×
能形成社区	×	×	×	√
短路径长度	×	√	√	×

因为语言传播竞争网络是一种典型的社会网络,使用社会圈子能正确描述语言网络由异质的个体网络构造造成整体网络的现实,所以采用社会圈子网络对语言传播竞争网络中语

言的传播和竞争进行建模。本文中使用社会圈子网络模型来模拟语言传播竞争网络是因为它比较灵活,通过对社会半径的设置可以得到一个很直观地反映语言传播竞争网络中人群结构特点的网络。依据社会人口的分布:大多数人的联系是靠小的社会半径连接的小圈子,只有少部分人的联系是依靠较大或者更大的社会半径连接的大圈子。其中会出现一部分人由于多种原因随时随地在移动,例如搬家或者改变自己的习惯等,称之为社会移动人口。图2中的网络模型使1000个个体随机分布在25600个单元面积的二维空间中,并将75%的个体社会半径 $S\text{-}sr$ (Small Social Reach) 设置为20,多数个体的社会半径小表示大多数普通个体只连接周围小范围的其他个体,从而使接近的个体互相连接形成小圈子;将15%和10%比例的个体的社会半径 $M\text{-}sr$ (Middle Social Reach) 设置为30, $B\text{-}sr$ (Big Social Reach) 为40,代表联系广泛的个体,它们还起到连接不同小圈子的作用。根据这一设置生成的初始网络如图2所示,可以看到网络中有多个小圈子,圈子之间又存在着弱连接。图3给出了网络度分布和不同圈子个体和全个体聚类系数的度量值。

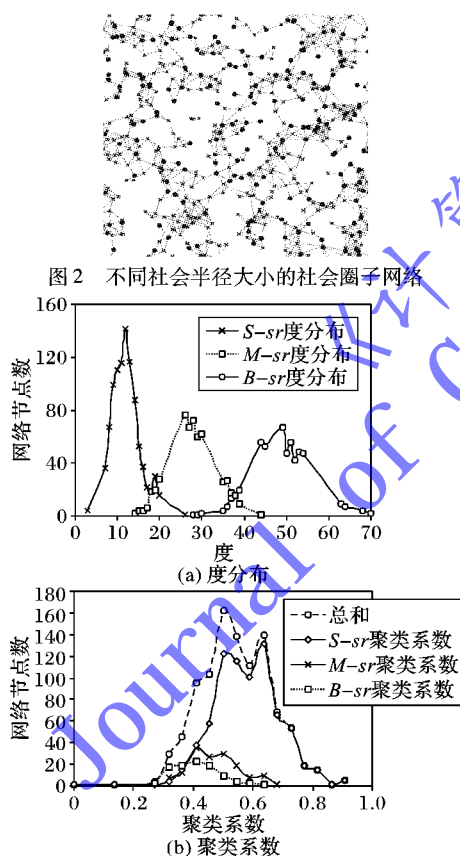


图3 网络度量参数

利用社会圈子理论构建的社会网络能实现社会网络所具有的绝大部分特点,主要体现在个体网络和社会网络两个方面(本模型初始 $S\text{-}sr$ 为20, $M\text{-}sr$ 为30, $B\text{-}sr$ 为40)。

1) 在个体网络方面。

①通过使用社会圈子来限制个体网络的规模,模型所生成个体网络大小最小为2,最大为30,平均为13.5。

②社会圈子的大小可以通过社会半径改变,当选取3个

合适的社会半径可以形成连续的长尾分布(如图3(a)所示),图3(a)中度代表网络中每个节点与其有连接关系的节点的个数,无特定单位表示。通过观察3种不同社会半径的社会圈子的度-度相关性可知,在不同社会半径的不同的社会圈子中,度越高的节点越少,度相对较低的节点往往比较密集,这与大部分普通人联系范围小、少部分人联系广泛是相一致的。

③有较高聚类系数,通过重叠的社会圈子产生的网络(无特定单位);如图3(b)所示,大部分个体的聚类系数在0.3到0.7之间,平均0.57,但是单个个体的聚类系数根据参数的选择可以从0到1变化,符合社会人口的情况,依据个体的情况,既可以与外界联系,也可以联系很广泛,这与现实社会中朋友的朋友也是朋友的情况相吻合。

④个体网络可以随时间流动。

2) 社会网络的结构方面。

①社会网络具有密度低的特点,社会圈子越小,网络的密度越低。图2中网络中的连接数为6700,网络密度为0.97%。

②具有度-度正相关,如式(1)的 Pearson 相关系数 γ 所示:

$$\gamma = \frac{M^{-1} \sum_{\text{所有} e_{ij}} k_i k_j - \left[M^{-1} \sum_{\text{所有} e_{ij}} \frac{1}{2} (k_i + k_j) \right]^2}{M^{-1} \sum_{\text{所有} e_{ij}} \frac{1}{2} (k_i^2 + k_j^2) - \left[M^{-1} \sum_{\text{所有} e_{ij}} \frac{1}{2} (k_i + k_j) \right]^2} \quad (1)$$

其中: k_i 和 k_j 分别表示 e_{ij} 的两个节点 v_i 和 v_j 的度, M 表示网络的总边数。通过计算 $\gamma = 0.493$,也就是说当 $\gamma > 0$,网络正相关,即度大的节点个体倾向于与度大的节点连接;反之亦然。随着社会半径的增加, γ 会不断减小,模型中增加社会半径 ($S\text{-}sr = 60, M\text{-}sr = 70, B\text{-}sr = 80$),新的 $\gamma = 0.305$ 。

③有社群结构,由于社会网络小圈子内紧密连接并且小圈子之间也会通过有较大社会半径的人连接,所以有社群结构。

④具有短路径长度,平均路径长度为6.5,满足小世界网络的特点。

由上可见,社会圈子网络模型实现了语言网络的社会网络的结构和特点。

2 基于社会圈子的语言传播模型

2.1 Agent 的属性、类型及各种类型语言之间的竞争传播

语言网络中个体间的语言传播模型采用 Minett 等^[7]提出的模型,模型中的节点代表总人口中掌握不同语言的个体,在 n 个个体中,每一个人都可能掌握3类语言的其中一类:单语 X (monolingual language in X)、单语 Y (monolingual language in Y) 或者双语 Z (bilingual language in Z),具体描述如表2所示。

表2 模型中的3种个体种类

个体种类	类型描述
单语 X	只掌握两种竞争语言 X 与 Y 中的 X 语言的个体
单语 Y	只掌握两种竞争语言 X 与 Y 中的 Y 语言的个体
双语 Z	同时掌握 X 和 Y 两种竞争语言的个体

本模型主要研究语言之间传播转换的可能性的。模

型中的传播模式主要分为两种:1)纵向传播模型(Vertical Model, V-Model),或称遗传语言模型,即父辈将其所掌握的语言传给子代的模型;2)横向传播模型(Horizontal Model, H-Model),或称同辈成年人语言学习模型,即同辈成年人通过相互学习掌握新语言的模型。具体模型表示如图 4 所示。图 4(a)、(b)分别说明了横向和纵向传播中每种语言类型的传播方向以及传播概率。

纵向传播模型的特点如下:

1)所有子代个体都从语言网络中相邻的父辈个体处学习语言。如果语言网络中相邻的父辈个体只会竞争语言中的一种(X or Y),该子代个体只学会其中一种语言,即 $X \rightarrow X$ 和 $Y \rightarrow Y$;

2)在语言网络中,子代个体相邻的父辈个体同时掌握双语(Z),但是该子代个体只学习到了其中的一种竞争语言,即 $Z \rightarrow X$ 和 $Z \rightarrow Y$;

3)在语言网络中,子代个体从掌握两种竞争语言(Z)的相邻的父辈个体那里也同时学会了两种竞争语言(Z),即 $Z \rightarrow Z$ 。

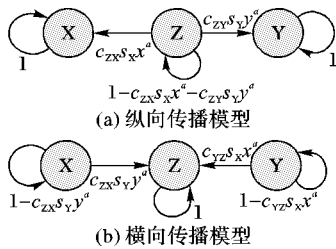


图 4 横/纵向语言传播模型

横向传播模型的特点如下:

1)在语言网络中,所有掌握双语的同辈成年个体仍旧保留双语的状态,即 $Z \rightarrow Z$;

2)在语言网络中,同辈成年个体只掌握两种竞争语言其中之一 X,后来受到掌握另一竞争语言 Y 的相邻同辈成年个体的影响,最终掌握双语 Z,即 $X \rightarrow Z$;

3)在语言网络中,同辈成年个体只掌握两种竞争语言其中之一 Y,后来受到掌握另一竞争语言 X 的相邻同辈成年个体的影响,最终掌握双语 Z,即 $Y \rightarrow Z$;

4)在语言网络中,所有掌握两种竞争语言中的其中一种语言的同辈成年个体(X or Y),最终仍旧保留只会其中一种语言的状态,即 $X \rightarrow X$ 和 $Y \rightarrow Y$ 。

2.2 横/纵向语言传播概率计算

社会网络中每个节点会受到与其有连接关系的节点的影响而按一定概率改变其语言状态。Agent 属性能体现其状态,模型中主要考虑语言的传播、社会结构和社会影响相关的属性,属性及其含义如表 3 所示。

根据语言传播模型中可能出现的语言传播的情况以及语言之间的传播要依据语言自身的吸引力的影响,故设定了语言传播概率计算公式^[7]。

V-Model 公式如下:

$$\Pr(X \rightarrow X) = 1 \quad (2)$$

$$\Pr(Y \rightarrow Y) = 1 \quad (3)$$

$$\Pr(Z \rightarrow X) = c_{ZX} s_X x^a \quad (4)$$

$$\Pr(Z \rightarrow Y) = c_{ZY} s_Y y^a \quad (5)$$

$$\Pr(Z \rightarrow Z) = 1 - c_{ZX} s_X x^a - c_{ZY} s_Y y^a \quad (6)$$

H-Model 公式如下:

$$\Pr(X \rightarrow X) = 1 - c_{XZ} s_X x^a \quad (7)$$

$$\Pr(X \rightarrow Z) = c_{XZ} s_X x^a \quad (8)$$

$$\Pr(Y \rightarrow Y) = 1 - c_{YZ} s_Y y^a \quad (9)$$

$$\Pr(Y \rightarrow Z) = c_{YZ} s_Y y^a \quad (10)$$

$$\Pr(Z \rightarrow Z) = 1 \quad (11)$$

其中:Pr 表示语言相互之间传播的概率,Pr 越大语言传播的可能性越大; $c_{ZX} = c_{ZY}$, $c_{XZ} = c_{YZ}$ 表示两种语言间传播的最高比率; s_X 代表 X 语言的地位, s_Y 代表 Y 语言的地位,根据 Abrams-Strogatz 模型,假设 $s_X + s_Y = 1$,即其中一种语言地位上升,那么另一种语言的地位必然下降,呈此消彼长的趋势; x 代表语言网络中的某一个体的相邻个体为只掌握语言 X 的比例, y 代表语言网络中某一个体的相邻个体为只掌握语言 Y 的比例,假设在一个拥有 3 类语言状态的社会(X、Y 和 Z),3 类语言状态的人口比例相加必然等于 1,即 $x + y + z = 1$; a 表示吸引力因子,即在用某一种语言交流的群体中该语言的吸引等级。

表 3 Agent 属性

属性	描述
state	X、Y、Z 分别代表单语 X、单语 Y 和双语 Z 3 种的语言状态
nOfMyCircle	个体的社会圈子中与个体有边连接的其他个体数,即个体的度
SocialReach	分别代表小社会半径、中社会半径和大社会半径
socialShiftRate	移动个体的比例
v-c	纵向传播模型中语言传播的最高比例
h-c	横向传播模型中语言传播的最高比例
s_X 或 s_Y	单语 X 或者单语 Y 的语言地位
a	语言的吸引因子
x	语言网络中,某一个体的相邻个体为只掌握语言 X 的比例
y	语言网络中,某一个体的相邻个体为只掌握语言 Y 的比例

注:V-Model 中的最高比例 $c_{ZX} = c_{ZY}$, H-Model 中的最高比例 $c_{XZ} = c_{YZ}$ 。为了方便说明,统一将 c_{ZX} 和 c_{ZY} 描述为 v-c;将 c_{XZ} 和 c_{YZ} 描述为 h-c。

2.3 影响社会语言传播的其他因素

为了更真实地还原现实社会,模型中引入了出生率、死亡率和社会移动人口比例来描述社会网络的动态性。所谓出生率,代表新出生的人口,用以代替已经死亡的成年人,维持社会总人口数;死亡率代表随着时间推移自然死亡的成年人或者突发状况死亡的个体;社会移动人口代表一个时间步长内移动一定距离的个体,假设移动的距离是一个单位长度,由于移动的距离比较小,所以人口的移动可能不会改变个体网络结构,只有当个体移动到与之相邻个体所形成的社会圈子外才会改变个体网络结构,如图 5 所示,如果 A 移动到 B,那么 X 的个体网络结构改变;如果 A 移动到 C,那么 X 的个体网络结构不变。个体动态流动性会影响个体网络内部强连接的稳定性以及个体网络之间的弱连接的持续性,个体的移动、死亡

和新生可能会导致新的联系或者联系完全中断。这些因素都会导致旧关系的断开,新关系的建立,从而导致社会交流网络的动态演化。

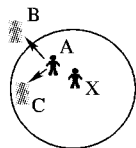


图5 社会移动人口对个体网络的影响

3 语言传播模拟流程

系统模拟流程模型可用图6表示。为了更真实地模拟社会语言网络,本模型首先设定了个体总数、每个个体的社会半径、每种社会半径的人口比例、每种语言所占的人口比例;为了模拟现实生活中人们可能出现的状况,模型中还设定了出生率、死亡率以及人口移动比例;通过设定语言传播概率公式的参数,包括最高比率、语言地位、吸引因子,用以计算语言传播的可能性大小,即通过 V-Model 和 H-Model 来推导 X 或 Y 到 Z 的转变、Z 到 X 或者 Y 的转变,或者自身语言的传播和保留。本模型没有设定两种竞争语言的相互转化,通常来讲,一个个体不可能完全抛弃母语而去学习其竞争语言,这会导致完全不能交流的情况出现,例如只会 X 语言的父母和其只会 Y 语言的孩子之间存在无法交流的情况,所以这种情况几乎不可能出现,模型中排除此情况。

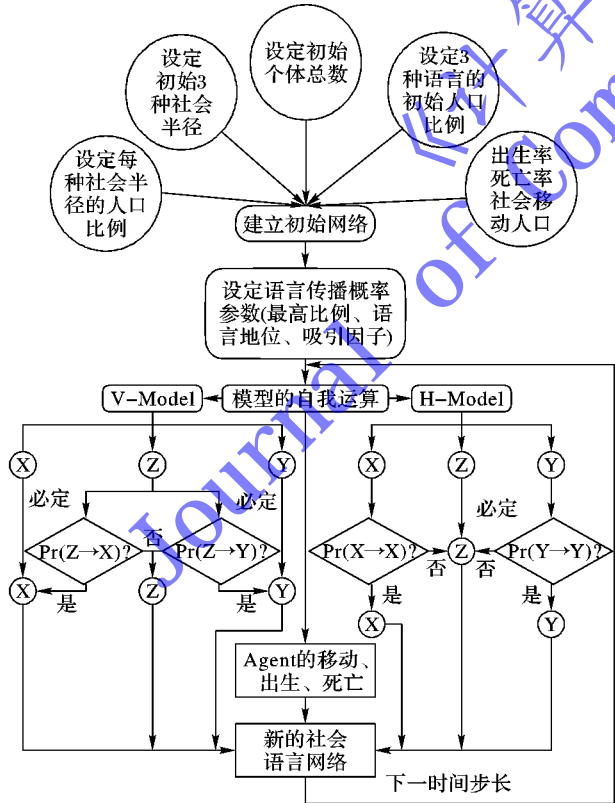


图6 系统模拟流程模型

4 仿真结果分析

本模型以 NetLogo^[12] 为平台。模型基准情况中涉及到的

参数初始值设置借鉴了 Minett 等^[7] 提出的模型中的经验值,他们提出的模型将个体总数设定为 1000,死亡率设定为 1%, V-Model 的语言传播最高比例设定为 1, H-Model 的语言传播最高比例设定为 0.35,吸引因子在大于等于 0.63 的范围内稳定,单语 Y 的语言地位设定为 0.7,规定当某种语言的语言地位大于 0.5 时,该语言为优势语言。个体所处环境设定为 160 × 160(约 25 600 个单元网格)的网格空间,具体如表 4 所示。

4.1 语言地位对语言传播模型的影响

图7表示改变语言地位的对比,单语 X 的语言地位由 0.3 增加到 0.8;单语 Y 的语言地位由 0.7 减小到 0.2。由图 7 可知,在调整语言地位之前,单语 Y 的人口比例在 1 700 步达到 100%,而单语 X 和双语全部消亡;调整语言地位后,单语 X 的人口比例在 1 700 步达到 100%,单语 Y 以及双语全部消亡,即改变语言地位会影响掌握不同语言的人口比例。实际社会生活中,虽然某种语言的初始人口比例较小,但是随着语言地位的提 升,便会提高该语言在经济、政治和文化方面的地位,增强持该种语言的自豪感,改变未来的趋势。

表4 模型可调控参数和初始值

参数	初始值	描述
<i>nOfAgents</i>	1 000	Agent 总数
<i>Xpopulation</i>	40%	单语 X 所占人口比例
<i>Ypopulation</i>	50%	单语 Y 所占人口比例
<i>Zpopulation</i>	10%	双语 Z 所占人口比例
<i>Spop</i>	70%	小社会半径所占人口比例
<i>Mpop</i>	25%	中社会半径所占人口比例
<i>Bpop</i>	5%	大社会半径所占人口比例
<i>S-Reach</i>	20	小社会半径的大小
<i>M-Reach</i>	30	中社会半径的大小
<i>B-Reach</i>	40	大社会半径的大小
<i>BirthRate</i>	1%	个体出生率
<i>DeathRate</i>	1%	个体死亡率
<i>socialShiftRate</i>	5%	社会移动人口比例
<i>X-state</i>	0.3	单语 X 的语言地位
<i>Y-state</i>	0.7	单语 Y 的语言地位
<i>a</i>	1	吸引因子
<i>h-c</i>	0.3	H-Model 的语言传播最高比率
<i>v-c</i>	1	V-Model 的语言传播最高比率

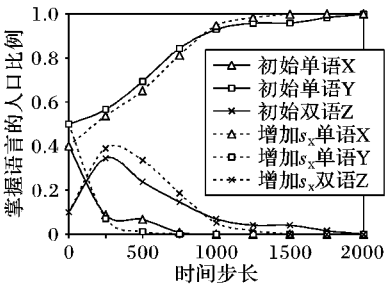


图7 语言地位对语言传播的影响

4.2 语言人口比例对语言传播模型的影响

图8表示了通过改变每种语言的人口比例对语言传播社会的影响对比。模型中 X 语言者、Y 语言者和 Z(双语)语言者所占人口比例分别由初始的 40%、50% 和 10% 变成 30%、

65%和5%。通过改变前后趋势曲线的对比,发现改变语言人口比例对语言共存的最终走向并没有决定性的影响。人口的增加就是小部分数据的平移,在初始状态附近的范围内变化,说明在实际社会中它并不是决定性因素。

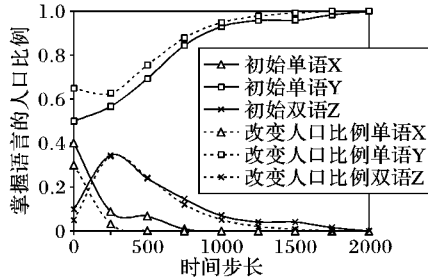


图8 语言人口比例对语言传播的影响

4.3 吸引因子以及语言传播最高比率对语言传播模型的影响

图9表示减小吸引因子和增加 $h-c$ 与初始状态的对比。吸引因子,即某种语言在相应群体中的吸引等级,仿真模型中, α 由初始值1减小到0.5,随着时间步数的推移,与初始状态的语言维持时间相比较,语言的维持时间缩短,模型将更快地达到双语和弱势语言的消亡以及优势语言获得全部支持的状态。通过将 $h-c$ 参数由0.3增加到0.8以后,发现趋势曲线的维持时间基本保持不变,但是在过程中与初始状态相比较会有一些的改进,分析式(7)~(11)可知,由于 $h-c$ 的增加, $\Pr(X \rightarrow Z)$ 和 $\Pr(Y \rightarrow Z)$ 的概率也相应地增加, $\Pr(X \rightarrow X)$ 和 $\Pr(Y \rightarrow Y)$ 的概率相应减少,即提高单语转化成双语的概率,在实际生活中,有利于提高双语学习的氛围,刺激同辈成年人学习双语的积极性,所以从图9中看到双语Z的人口比例会达到一个较高的值,单语X和单语Y的人口比例会相应地减少,说明增加 $h-c$ 对提高双语人口比例有一定的作用。在实际生活中,提升语言的吸引力和语言的学习交流的氛围,可以延长语言的消亡时间并且提高同辈成年人学习双语的积极性。

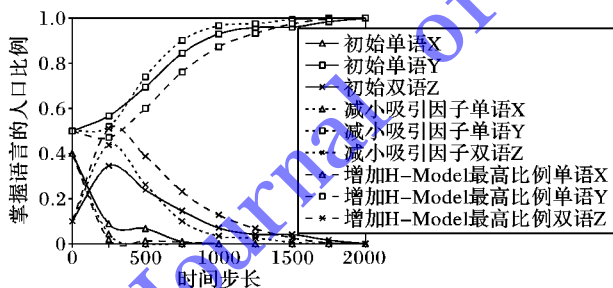


图9 吸引因子和 H-Model 最高比例对语言传播的影响

4.4 V-Model 中的语言传播最高比率对语言传播模型影响

图10表示了改变初始条件中的 $v-c$ 参数。结果显示通过将 $v-c$ 参数由1减小到0.5以后,双语人口比例超过优势语言的人口比例,而且变化率较大,模型整体趋势表现平稳。分析式(2)~(6)可知,减少 $v-c$ 使得 $\Pr(Z \rightarrow X)$ 和 $\Pr(Z \rightarrow Y)$ 的传播概率减少, $\Pr(Z \rightarrow Z)$ 的传播概率相应增加,增加双语的父辈遗传给子代双语的概率,即掌握双语的父辈对子代进行双语教育的比重增加,同时加强学校的双语教学,通过提高双语学习的氛围,增加子代学习双语的热情和机会,促进弱势语言通过双语的形式保留下来。

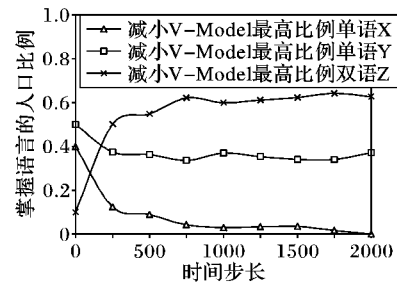


图10 V-Model 最高比例对语言传播的影响

4.5 移动人口对语言传播概率模型的影响

图11表示了增加或者减少移动人口比例对语言共存产生的影响。模型中移动人口比例由初始的5%减小到1%,结果显示减少移动人口的比例,人员流动性减小,两种竞争语言之间的交流较少,相互竞争的压力就会降低,出现了X、Y、Z 3类语言共存的状态,弱势语言便得以保存。若将移动人口比例由初始的5%增加到10%,结果显示增加移动人口的比例,人员流动性增大,两种竞争语言之间的交流增加,相互竞争的压力提高,优势语言会得以保存,一部分弱势语言转变成双语得以保存,但是弱势语言最终会逐渐消亡。图中弱势语言在1250步时消亡。所以,随着现代社会流动性的增强,靠两种语言减少接触机会来保护弱势语言的目的是不可行的,在高流动性的社会中,要保护弱势语言就需要在弱势语言者学习优势语言的同时,热爱并传承自己的母语,从而通过双语的形式把弱势语言保留下来。

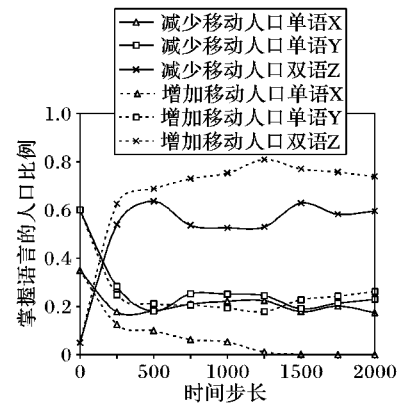


图11 移动人口对语言传播的影响

4.6 社会半径的改变对语言传播概率模型的影响

图12表示了增大社会半径后,语言共存状况的改变。模型中3种社会圈子的社会半径由初始的小社会半径为25、中社会半径为35、大社会半径为45变成小社会半径为35、中社会半径为45、大社会半径为55。个体的圈子大小变化对语言传播竞争的影响明显,当个体圈子小时,网络密度也较小,随着个体圈子的扩大,网络中的连接不断增加,表示能联系到的个体范围增加,交流就会增加。模型中社会半径逐渐增加,社会圈子的大小就会不断增加,个体之间的交流就会越来越多,语言之间的竞争传播可能性就会越来越大。随着两种竞争语言之间的交流增加,语言地位较低的语言就会逐渐走向消亡,图12中语言地位较低的单语X在1000步时基本消亡,双语者随着交流的增加而增加,最终出现双语和地位较高的优势语言共存的情况。因此,适当控制社会圈子的规模,控制语言地位较低的语言的个体与语言地位较高语言个体之间的竞争

交流,可以很好地维持两种语言共存的状态,如图12中适当缩小社会半径后的语言共存的情况,表明了地理上的隔绝有利于语言的保存。现实社会中,随着交通和通信技术的发展,人们之间的时空隔绝越来越被淡化,人们的交往范围已经不受地理位置的限制。目前条件下,需要出台一些政策配合以达到弱势语言的保护的日的。

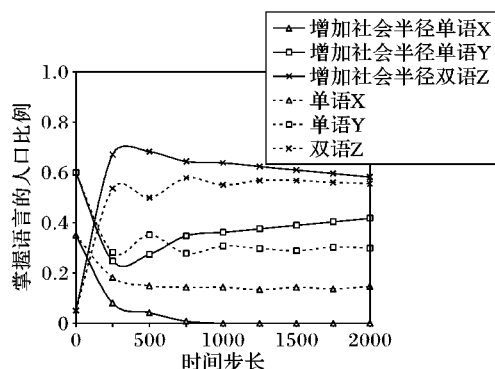


图12 社会半径对语言传播的影响

4.7 综合参数调整后的语言传播概率模型

通过对上述模型参数的分析,提升吸引因子 a 可以延长弱势语言和双语的消亡时间;增加 $h-c$ 提升同辈成年个体学习双语的积极性;提升语言地位 s_x 或者 s_y 可以提高该语言在经济、政治和文化方面的地位,增强持该种语言的自豪感,改变未来的趋势;减小 $v-c$ 可以提高双语学习的氛围,增加子代学习双语的热情和机会,产生弱势语言通过双语的情况保留下来的现象;语言人口比例的改变不起决定性因素,只具有一定的辅助作用;移动人口的增加会增加弱势语言保护的难度,增加弱势语言消亡的可能性;社会半径的改变表明了地理上的隔绝有利于语言的保存。这些因素是相互影响相互制约的,需要充分考虑各种因素间的平衡调配。通过综合分析以及参数调整多次仿真,得到3类语言状态相对稳定的共存状态。图13表示通过上述对模型内各个参数的分析后进行适当调整以后的模型仿真。图中3类语言基本达到一种稳定共存的状态,在750的时间步长时基本达到语言的共存,之后的波动不大,基本保持平衡。达到语言稳定共存状态的模型参数设定值如表5所示。

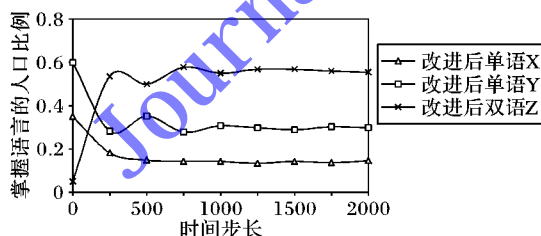


图13 改进后模型仿真

表5 语言稳定共存参数设定

参数	值	参数	值	参数	值
$nOfAgents$	1000	$Bpop$	10%	$socialShiftRate$	5%
$Xpopulation$	35%	$S-Reach$	25	$X-state$	0.7
$Ypopulation$	60%	$M-Reach$	35	$Y-state$	0.3
$Zpopulation$	5%	$B-Reach$	45	a	0.8
$Spop$	75%	$BirthRate$	1%	$h-c$	0.52
$Mpop$	15%	$DeathRate$	1%	$v-c$	0.54

5 结语

本文采用基于社会圈子理论的 Agent 技术来构建网络模型,该模型除了模拟影响语言传播概率大小的因素以外(吸引因子、语言地位和最高比率),还考虑到现实的社会因素,包括个体的出生死亡、个体的特殊移动、个体社会圈子大小、人口比例,这些因素能正确描述动态语言传播网络的特点,并能从社会网络角度给出语言传播的定量解释,模型框架为进一步研究语言的传播机制提供了一个可行的新方法。仿真实验中通过调整模型传播概率公式中的模型参数中的吸引因子 a ,最高比率 $v-c$ 和 $h-c$,语言地位 s_x 或者 s_y ,语言人口比例,移动人口比例和社会半径的大小分析对语言竞争传播的影响。

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。本文模型存在不足并且需要不断改进,如模型中影响语言传播的公式还比较简单,语言种类较少,模型没有考虑到空间分布以及通信工具的使用,下一步将加强地理空间分布的分析以及通信工具的使用。

参考文献:

- [1] XU S. The study of endangered languages [M]. Beijing: Central University of Nationalities Press, 2001: 1-10. (徐世璇. 濒危语言研究[M]. 北京: 中央民族大学出版社, 2001: 1-10.)
- [2] ABRAMS D M, STROGATZ S H. Modeling the dynamics of language death [J]. Nature, 2003, 424: 900.
- [3] PATRIARCA M, LEPPÄNEN T. Modeling language competition [J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2004, 338(1/2): 296-299.
- [4] PINASCO J P, ROMANELLI L. Coexistence of language is possible [J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2006, 361(1): 355-360.
- [5] KANDLER A, STEELE J. Ecological models of language competition [J]. Journal of Biological Theory, 2008, 3(2): 164-173.
- [6] MIRA J, PAREDES A. Interlinguistic similarity and language death dynamics [J]. Europhysics Letters, 2005, 69(6): 1031-1034.
- [7] MINETT J W, WANG W S Y. Modeling endangered languages: the effects of bilingualism and social structure [J]. Lingua, 2008, 118(1): 19-45.
- [8] KOSMIDIS K, HALLEY J M, ARGYRAKIS P. Language evolution and population dynamics in a system of two interacting species [J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2005, 353(1): 595-612.
- [9] CASTELLÓ X, EGUILUZ V M, MIGUEL M S. Ordering dynamics with two non-excluding options: bilingualism in language competition [J]. New Journal of Physics, 2006, 8(12): 308-322.
- [10] TOIVONEN R, CASTELLÓ X, EGUILUZ V M, et al. Broad lifetime distributions for ordering dynamics in complex networks [J]. Physical Review E, 2008, 79(1): 016109.
- [11] HAMILL L, GILBERT N. Social circles: a simple structure for Agent-based social network models [J]. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 2009, 12(2): 3.
- [12] WILENSKY U. The center for connected learning and computer-based modeling [EB/OL]. [2014-01-05]. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>.