

跨方言声调生成及变调处理

贺俊杰

(陕西师范大学 外国语学院, 西安 710062)

摘要: 为获得具有通用性的声调处理系统, 该文运用计算语言学方法, 基于管辖音系学理论提出跨语言声调处理算法。经分析天津话和丹阳话变调算法结果, 可得出结论: 基于管辖音系学的变调自动化处理模型具有跨方言算法内核一致性、代码精简性以及可移植性等特点。这些特点均源于该音系学理论特有的声调表征模式以及声调音系过程解释机制。

关键词: 自动处理; 音系学; 变调; 管辖音系学

中图分类号: H 087

文献标志码: A

文章编号: 1000-0054(2011)09-1257-04

Automation of cross-dialectal tone generation and sandhi manipulation

HE Junjie

(School of Foreign Languages, Shaanxi Normal University,
Xi'an 710062, China)

Abstract: An algorithm was developed to automatically generate tones across dialects within the government phonology framework to achieve universal tone processing. An analysis of the results of the sandhi algorithms for Tianjin and Danyang Chinese dialects concludes that the automated algorithm based on government-phonological tonal theories is very effective. The code is simple and concise and can be readily ported to other tonal languages or dialects. All these come from the unique explanatory device of the tonal theory of government phonology.

Key words: automation; phonology; tone sandhi; government phonology

在 1970 年代句法原则参数理论研究范式的影响下, Kaye 等学者^[1]提出了管辖音系学(government phonology, GP)的基本思想。随后, Kaye^[2]构建了针对声调音系现象的基本理论框架, 贺俊杰^[3]对这一框架进行了理论修订及拓展。在此理论框架下, 本文运用计算语言学方法, 对变调的计算机自动处理算法进行探讨, 提出基于 GP 声调理论的声调表征和变调处理算法, 以此检验该理论的精

简性和可行性, 并证明此算法模型具有跨方言的算法内核一致性、算法代码精简性以及较好的可移植性等特点。

1 GP 声调理论简介

GP 理论因其分析极具特色, 在国外音系学界影响颇大。自 1980 年代中期产生以来, 它在音段结构、音节结构和韵律结构等领域取得了重要的进展。它严格遵循生成语言学的理论目标和研究方法, 具有论证严谨、体系简约等特点, 是一种非常重要的音系学研究范式。

GP 理论的音系表达系统采用独值特征对音段进行描写。Kaye 等学者^[4]以及 Kaye 本人^[5-6]提出了首音、韵音和核心等 3 种音节成分, 明确了音节成分结构上的严格二分原则, 并界定了成分内部以及成分之间的几种管辖关系; 提出了投射原则(projection principle), 排除了音节重新划分(resyllabification)等一些需要改变词库表达层面业已确立的管辖关系的音系推导过程; 同时还提出了空范畴原则(empty category principle)、尾音允准原则(coda licensing principle)等重要音系原则, 进一步制约了音系表达。

为解释声调音系现象, 文^[2]提出了面向曲线声调表达的声调理论模型, 文^[3]对这一模型进行了理论拓展, 针对主位设定方式提出了理论修订, 认为主位设定只有位置型。取消内在型主位设定后, 延伸方向仅由主位位置蕴含, 无需独立设定。拓展后的声调理论能为声调音系过程提供解释。

收稿日期: 2011-07-15

基金项目: 国家社会科学基金青年项目(09CYY001)

作者简介: 贺俊杰(1970—), 男(汉), 湖南, 副教授。

E-mail: junjie_he@126.com

2 跨方言声调生成系统算法示例

根据拓展后的声调理论^[3],声调语言及方言间在声调系统上的差异可以通过各系统在调元数目、主位、延伸和允准制约条件选择等参数上的不同设置得到解释。

2.1 跨语言声调系统生成参数设定

先以天津话的声调系统为例说明允准制约条件、主位和延伸等参数设置在该声调系统生成过程中的作用。天津话有4个调类:阴平、阳平、上声和去声。它们的语音表现分别为低平调、高平调、低升调和高降调,调值描写分别为11、55、24和53,在音系上的表达分别是LL、HH、LH和HL。

根据GP声调表征理论,这4种调类调型的音系表达应该是阴平“ $\leq L$ ”、阳平“ $\leq H$ ”、上声“ LH ”和去声“ HL ”。其中下面加有着重号的为调型主位,位于主位上的调元强制性延伸至无调的非主位,从而形成平调,这样的声调表征方式是依据音系理论中的一条强制曲拱制约条件(obligatory contour principle, OCP)而产生的。该制约条件要求相邻位

置不允许出现相同的调元,可定义为*XYX...,其中 $X \in \{H, L\}$, $Y \in \{H, L, \phi\}$ 且 $X \neq Y$,简称OCP1。由于天津话属于复杂I型声调系统,该型系统的两个调元“H”和“L”与占位元素“_”共有 3^2 种两两组合。其中4种合法组合须通过OCP1以及另一条允准制约条件的共同作用得以生成。天津话声调系统的GP模型^[7]具有如下参数设置:

- 1) 声调类型:复杂I型。
- 2) 声调延伸:“H”,“L”,强制性。
- 3) 声调主位:主位居尾。
- 4) 允准制约条件:a) OCP1; b) 主位必有调,即有X,其中 $X \in \{H, L\}$ 。

表1列出若干模板型语言(方言)的允准制约条件、主位设定以及延伸设定等参数设置。表1中各语言声调表达依据了以往文献中较为公认的调值描写。若干设置标有“—”,代表该声调系统参数组合尚未找到对应的语言实例,因为这些允准制约条件与GP声调理论中高调主位性理论的要求存在较大差距。这说明了GP的高调主位性理论对语言事实具有一定的预测能力。

表1 跨语言(方言)声调系统参数设置示例

| 系统 | 允准制约条件 | 主位 | 延伸 | 合法调型 | 非法调型 | 语言示例 |
|--------|-------------------|----|------------------------|--|--|---------|
| | OCP1, 调型内须有 H | 居首 | 强制性(H、L) | $\underline{H}, \underline{H}, \underline{LH}, \underline{HL}$ | $\underline{L}, \underline{L}, \underline{_}$ | 汉语普通话 |
| | OCP1, 调型内须有 L | 居首 | | $\underline{L}, \underline{L}, \underline{HL}, \underline{LH}$ | $\underline{H}, \underline{H}, \underline{_}$ | — |
| | OCP1, 主位须有调 | 居尾 | 强制性(H、L) | $\underline{H}, \underline{L}, \underline{LH}, \underline{HL}$ | $\underline{H}, \underline{L}, \underline{_}$ | 天津话 |
| | OCP1, 主位须有调 | 居首 | 强制性(H、L) | $\underline{H}, \underline{L}, \underline{HL}, \underline{LH}$ | $\underline{_}, \underline{H}, \underline{_}$ | 德州话、西安话 |
| | OCP1, 非主位须无调 | 居首 | | $\underline{H}, \underline{L}, \underline{_}$ | $\underline{H}, \underline{L}, \underline{HL}, \underline{LH}$ | — |
| | OCP1, 主位须无调 | 居首 | | $\underline{_}, \underline{H}, \underline{_}$ | $\underline{H}, \underline{L}, \underline{HL}, \underline{LH}$ | — |
| | OCP1, 非主位须有调 | 居首 | | $\underline{_}, \underline{H}, \underline{L}, \underline{HL}, \underline{LH}$ | $\underline{H}, \underline{L}, \underline{_}$ | — |
| | OCP1, 调型内仅有一个调元 | 居首 | 强制性(H、L) | $\underline{H}, \underline{H}, \underline{L}, \underline{L}$ | $\underline{HL}, \underline{LH}, \underline{_}$ | 镇江话 |
| 复杂 I 型 | OCP1, 调型内最多只有一个调元 | 居首 | 强制性(H、L), 词库标注不延伸(H、L) | $\underline{H}, \underline{H}, \underline{L}, \underline{L}, \underline{_}$ | $\underline{HL}, \underline{LH}$ | 广州话 |
| | OCP1, 调型内最多只有一个调元 | 居首 | 强制性(H、L), 词库标注不延伸(L) | $\underline{H}, \underline{H}, \underline{L}, \underline{L}, \underline{_}$ | $\underline{HL}, \underline{LH}$ | 长沙话 |
| | OCP1, 调型内最多只有一个调元 | 居尾 | 强制性(H), 词库标注不延伸(H、L) | $\underline{H}, \underline{H}, \underline{L}, \underline{L}, \underline{_}$ | $\underline{LH}, \underline{HL}$ | 武鸣壮话 |
| | OCP1, L 不居主位 | 居首 | 强制性(H、L) | $\underline{H}, \underline{H}, \underline{HL}, \underline{L}, \underline{_}$ | $\underline{L}, \underline{LH}$ | 厦门话 |
| | OCP1, H 不居非主位 | 居首 | 强制性(H、L), 词库标注不延伸(L) | $\underline{H}, \underline{HL}, \underline{L}, \underline{L}, \underline{_}$ | $\underline{_}, \underline{H}, \underline{LH}$ | 玉林话 |
| | OCP1, L 不居非主位 | 居首 | | $\underline{L}, \underline{LH}, \underline{H}, \underline{H}, \underline{_}$ | $\underline{L}, \underline{HL}$ | — |
| | OCP1, H 不居主位 | 居首 | | $\underline{L}, \underline{L}, \underline{LH}, \underline{H}, \underline{_}$ | $\underline{H}, \underline{HL}$ | — |
| 简单型 | OCP1 | 居尾 | 强制性(H), 词库标注不延伸(H) | $\underline{H}, \underline{H}, \underline{_}$ | | 丹阳话 |

2.2 跨方言声调生成与合成

根据以上 GP 声调系统,本文设计出跨语言(方言)声调系统的生成算法,并构建了跨语言(方言)声调生成系统。图 1 为该系统声调生成与合成机制对示例字串“南开大学外语学院”的声调层进行跨方言置换的结果。该算法的合成效果具有很高的可懂度和跨方言区分度。图 1 显示的是所生成的各方言的声调层在示例字串上的音高曲线走势。将依据各方言声调系统所生成的示例字串声调层与原始发音的

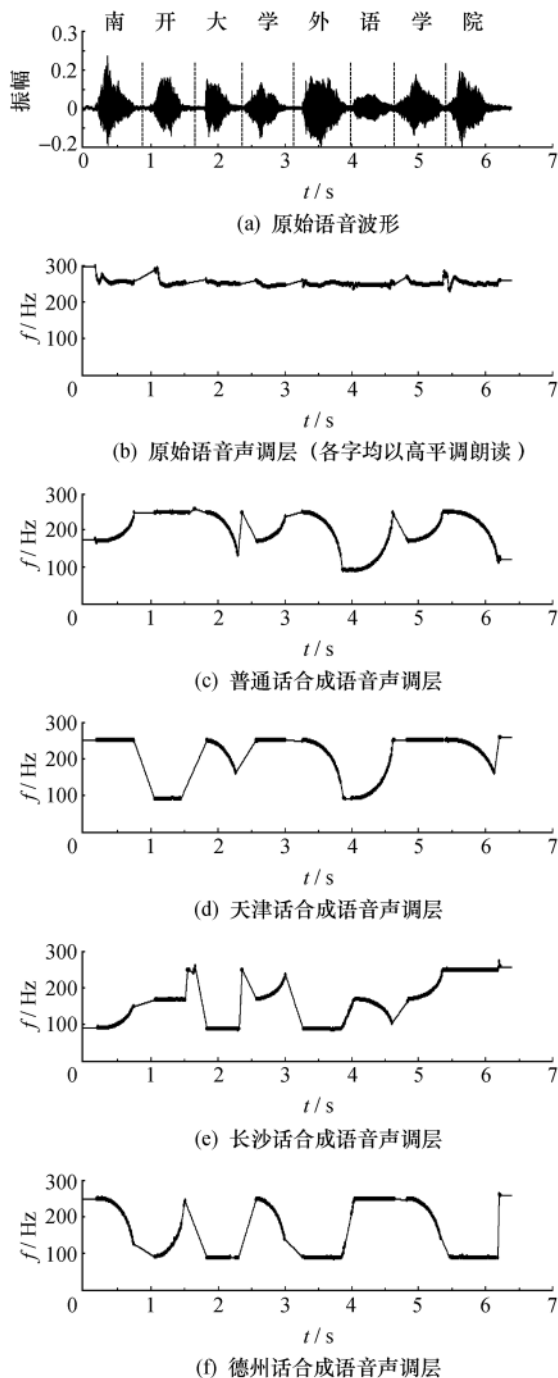


图 1 跨方言声调层置换合成示例

声调层进行置换,即可获得目标方言的合成语音。听辨实验显示:合成语音的方言声调特征明显,方言的归属辨识率高。

3 变调算法举例

下面以天津话和丹阳话的连读变调为例,提出变调算法,说明基于 GP 理论的言语工程算法具有较好的通用性和可移植性。

3.1 天津话连读变调算法

天津话二字组连读变调系统^[7]的参数设置为:

- 1) 变调域:前字,即前字变调型。
- 2) 变调触发条件: a) OCP2(*XY.XY, X, Y ∈ {H, L}; X ≠ Y); b) OCP3(*LL.LL); c) OCP4(*L.LL)。
- 3) 变调制约条件: a) 遵守允准制约条件; b) 不违反其他的变调触发条件。
- 4) 变调操作: a) 增加; b) 删除; c) 邻接(因声调系统允准制约条件有“主位必有调”)。

天津话二字组共有 16 种组合方式,其中 4 种因满足以上二字组连读变调系统中的变调触发条件而引发变调:阴平+阴平($\leq \underline{L} + \leq \underline{L}$),上声+上声($L\dot{H} + L\dot{H}$),去声+去声($H\dot{L} + H\dot{L}$),去声+阴平($H\dot{L} + \leq \underline{L}$)。

天津话二字组连读变调系统能直接转换成计算机算法,输出正确的二字组连读变调结果。对于符合变调条件的二字组,通过对其变调操作空间中各种候选操作进行变调经济性评估,然后选择其中经济性最高的变调操作对原声调组合施以变调作用,即可得到相应变调组合的最终变调形式。

天津话三字组连读变调^[7]的参数设置为:

- 1) 变调全域:三字组。
- 2) 变调触发条件:同二字组变调触发条件。
- 3) 变调搜索方向:右向搜索。
- 4) 变调制约条件:前二字组变调尝试过程中,对于中字调型呈弱势管辖的三字组,变调全域内不允许因变调而产生违反 OCP2 或 OCP(*LL.LL)的调型组;如产生,则放弃当次变调尝试,往下搜索变调可能性。

以上三字组连读变调系统为天津话变调方向性问题提供了音系学解释。其中单向变调假设在工程上有着简化算法的优势。

3.2 丹阳话二字组连读变调机制

丹阳话中,变调后的字调与单字调没有明显而

整齐的对对应关系。根据 GP 理论,该方言的变调处理流程如图 2 所示。其中前、后字底层形式的确定包括:根据前字的分类标准,指派前字类别,确定前字形式($\underline{<H}$, $\underline{H(E)}$, $\underline{H(C)}$, $\underline{\quad}$);根据后字的分类标准,指派前字类别,确定后字类别(A、B)。主要变调式的音系过程为:A类后字使前字主位调被删除,B类后字不影响前字调型;后字调型被删除;前字声调向后延伸;判断是否违反 OCP,并选择相应音系过程。而次要变调式的音系过程为:A类后字使前字(甲乙丙)主位调延伸,B类后字使前字主位调被删除(丁类为增加);后字调型被删除;前字声调向后延伸;判断是否违反 OCP,并选择相应音系过程。

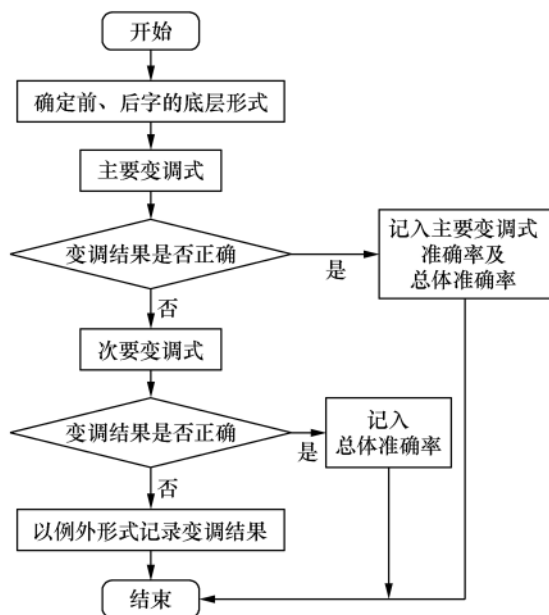


图 2 丹阳话连读变调习得路径暨算法流程

测试集(由 1 345 个二字组^[8]构成)实验显示:本文算法的程序实现能成功模拟母语习得者的变调习得路径。习得以上变调规则后,母语者仅需 2 种变调式,就能将变调的准确性达到相当高的水平,如表 2 和 3 所示。

表 2 丹阳话二字组变调算法准确率(A类后字)

| 前字 | 变调准确率/% | | |
|----|---------|-------|------|
| | 主要变调式 | 次要变调式 | 总体 |
| 平清 | 87.0 | 4.3 | 91.3 |
| 平浊 | 41.7 | 43.1 | 84.8 |
| 仄清 | 74.4 | 11.6 | 86.0 |
| 仄浊 | 65.7 | 27.5 | 93.2 |

表 3 丹阳话二字组变调算法准确率(B类后字)

| 前字 | 变调准确率/% | | |
|----|---------|-------|------|
| | 主要变调式 | 次要变调式 | 总体 |
| 平清 | 60.3 | 25.5 | 85.8 |
| 平浊 | 85.2 | 7.9 | 93.1 |
| 仄清 | 68.8 | 25.7 | 94.5 |
| 仄浊 | — | — | — |

针对丹阳话复杂的变调现象,GP 的解释有着重要的理论贡献:1)通过对管辖关系作强、弱势的区分,明确了在仄声前字向后延伸时,后字的管辖类别所起的决定性作用——不同管辖关系的后字对前字调型起到不同的支配作用。2)入清字作为后字时跨 A、B 两类分布也能找到理论根据。因为入清的音系表征为(H) $\underline{\quad}$,呈弱势管辖,弱势管辖对前字仄清选择 $\underline{H(C)}$ 的实现不起作用,所以在仄声后入清字归 A 类,而在平声后则归 B 类。3)丹阳话变调中只有前进型变调,而无后退型变调,也没有首尾定调或嵌入式变调。丹阳话的变调正如吕叔湘^[8]所认为的那样,变调组的首字调与其历史调类有对应关系。后字是前字调的延伸结果,在 42-24 连调组中确实存在异化过程。异化操作在音系上的解释就是主位调被删除及自动邻接。异化操作受制于 OCP2,即*XY.XY,其中 X,Y \in {H,L};X \neq Y。此 OCP 在丹阳话中仅有 24-24 连调组适用。以上理论贡献表现在工程上就是可以简化算法,并为算法的过程处理提供语言学理论依据。

4 结 语

通过计算机模拟实现根据语言理论构建的音系处理模型,可以了解该理论的可计算性和算法复杂度。根据某些音系理论^[9],丹阳话变调中字组需要抛弃单字调,赋予词调后再经历变调音系过程。这样,算法设计时需要在单字调值建库之外将变调字的各种变调调值同时建库。若以 GP 声调理论为理论依据,则仅需依据具有普遍意义的音系制约条件并辅之以有限的变调操作,就能建立鲁棒的变调算法。

天津话三字组涉及变调是否有方向性。若有,且不同变调式有着不同的方向,算法上就需要采取条件分支处理的方式。若无,即认为变调为单方向的,则变调算法将不再需要为不同的变调式人为设

(下转第 1266 页)

- [9] WANG Gang, WU Xiaojun, ZHENG Thomas Fang, et al. Regression-class tree based method for efficient speaker identification [C]// APSIPA ASC. Singapore: IEEE Press, 2010; 462-465.
- [10] Auckenthaler R, Mason J S. Gaussian selection applied to text-independent speaker verification [C]// In Proc A Speaker Odyssey—Speaker Recognition Workshop. Crete, Greece: IEEE Press, 2001.
- [11] XIANG B, Berger T. Efficient text-independent speaker verification with structural Gaussian mixture models and neural network [J]. *IEEE Trans Speech Audio Process.* 2003, **11**(5): 447-456.
- [12] 熊振宇, 郑方, 宋战江, 等. 基于树形通用背景模型的高效说话人辨认 [J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2006, **46**(7): 1305-1308.
XIONG Zhenyu, ZHENG Thomas Fang, SONG Zhanjiang, et al. Tree-structure universal background model based efficient speaker identification [J]. *Journal of Tsinghua University (Sci & Tech)*, 2006, **46**(7): 1305-1308. (in Chinese)
- [13] XIONG Zhenyu, ZHENG Thomas Fang, SONG Zhanjiang, et al. Combining selection tree with observation reordering pruning for efficient speaker identification using GMM-UBM [C]// ICASSP. Philadelphia, USA: IEEE Press, 2005; 625-628
- [14] Kinnunen T, Karpov E, Franti P. Real-time speaker identification and verification [J]. *IEEE Trans Audio, Speech, Lang Proc*, 2006, **14**(1): 277-288.
- [15] Pellom B L, Hansen J H L. An efficient scoring algorithm for Gaussian mixture model based speaker identification [J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 1998, **5**(11): 281-284.
- [16] Sub B, Liu W J, Zhong Q. Hierarchical speaker identification using speaker clustering [C]// In Int Conf Natural Lang Process Knowledge Eng. Beijing, China: IEEE Press, 2003; 299-304.
- [17] 边肇祺, 张学工. 模式识别 [M]. 清华大学出版社, 2000.
BIAN Zhaoqi, ZHANG Xuegong. *Pattern Recognition* [M]. Tsinghua University Press, 2000. (in Chinese)
- [18] Hall A V. Methods for demonstrating resemblance in taxonomy and ecology [J]. *Nature*, 1967, **214**: 830-831.
- [19] HUANG Xuedong, Acero A, Hon H. *Spoken Language Processing: A Guide to Theory, Algorithm, and System Development* [M]. 2001. Prentice-Hall.
- [20] Chinese Corpus Consortium. [OL]. <http://www.CCCForum.org/>
- [21] 王炳锡, 屈丹, 彭焯等. 实用语音识别基础 [M]. 国防工业出版社, 2005.
WANG Bingxi, QU Dan, PENG Xuan, et al. *Practical Fundamentals of Speech Recognition* [M]. National Defense Industry Press, 2005. (in Chinese)
- [22] 邓蕾. 电话信道下多说话人识别研究 [D]. 北京: 清华大学, 2006.
DENG Jing. *Studies on Multi-Speaker Recognition over Telephone* [D]. Beijing: Tsinghua University, 2006. (in Chinese)

(上接第 1260 页)

定条件分支处理模块, 仅需核查变调过程是否违反 OCP, 进而采取不同的处理方式。显然, 这种对不同处理方式流向的判断机制不是来自语言系统的外部(即根据不同的字组进行人为指定), 而是来自具有语言学普遍意义的 OCP 原则。

最后, 普通话的“上上”变调虽不复杂, 但如果将前字上声调直接向阳平调整体转换, 则算法稍显随意。GP 理论从音系结构出发为其变调处理提供了依据, 这将提高算法的通用性, 在天津话乃至其他方言的变调处理中可以重用这一变调算法内核。

参考文献 (References)

- [1] Kaye J, Lowenstamm J, Vergnaud J R. The internal structure of phonological representations: a theory of charm and government [J]. *Phonology Yearbook*, 1985, **2**: 305-328.
- [2] Kaye J. A short theory about tones [R/OL]. [2011-01-01]. <http://134.59.31.7/~scheer/scan/Kaye01shorttoneMs.pdf>
- [3] 贺俊杰. 管辖音系学的声调理论: 发展及应用 [J]. *当代语言学*, 2010, **12**(3): 252-261. (in Chinese)
HE Junjie, Tonal theory of government phonology: its development and application [J]. *Contemporary Linguistics*, 2010, **12**(3): 252-261
- [4] Kaye J, Lowenstamm J, Vergnaud J R. Constituent structure and government in phonology [J]. *Phonology*, 1990, **7**(2): 193-231.
- [5] Kaye J. ‘Coda’ licensing [J]. *Phonology*, 1990, **7**(2): 301-330.
- [6] Kaye J. Government in phonology: the case of Moroccan Arabic [J]. *The Linguistic Review*, 1987, **6**(2): 131-159.
- [7] 贺俊杰. “天津话连读变调之谜”再探 [J]. *南开语言学报*, 2010, (2): 23-34. (in Chinese)
HE Junjie, Tianjin Chinese tone sandhi paradox re-explored [J]. *Nankai Linguistics*, 2010, (2): 23-34.
- [8] 吕叔湘. 丹阳方言的声调系统 [J]. *方言*, 1980, **2**(2): 85-122.
LÜ Shuxiang. Tonal system of Danyang dialect [J]. *Fangyan*, 1980, **2**(2): 85-122. (in Chinese)
- [9] BAO Zhiming. On the Nature of Tone [D]. Cambridge, MA: MIT, 1990.