社会网络中的合作与认知*

Edoardo Gallo† Joseph Lee† Yohanes E. Riyanto‡ Erwin Wong‡

2023年5月

摘要

社会网络能够通过关系损失级联，放大单次背叛的后果，从而维持合作。在 Jackson 等（2012）的基础上，我们引入一种新颖的稳健性概念，用于刻画低认知复杂度（LCC）网络——这类网络是均衡网络的一个子集，计算和理解背叛后果所需的认知负担最低。我们通过实验室实验检验了我们的理论，发现均衡网络中的合作程度高于非均衡网络。在均衡网络中，LCC 网络的合作水平高于非 LCC 网络。学习对于均衡策略行为的形成至关重要。

JEL分类： C91, C92, D85, Z13。**关键词：** 合作、网络、有限理性、实验、学习。

arXiv:2305.01209v1 [econ.GN] 2 May 2023

*我们感谢 Peter Bossaerts、Matthew Elliott，以及纽约大学上海校区和剑桥大学研讨会的参与者提出的宝贵意见。我们还感谢 Wang Song 提供出色的研究协助。我们衷心感谢剑桥金融研究捐赠基金（CERF）授予 Edoardo Gallo 的资助，以及新加坡教育部授予 Yohanes E. Riyanto 的学术研究基金（AcRF）一级资助 RG163/18。

†剑桥大学经济学院，英国剑桥 CB3 9DD；以及马格达伦学院，英国 CB3 0AG。电子邮件：edo@econ.cam.ac.uk。

‡经济学部，社会科学学院，南洋理工大学，新加坡南洋大道48号，邮编639818。Y.E. Riyanto：电子邮件：yeriyanto@ntu.edu.sg；Erwin Wong：电子邮件：erwinchi001@e.ntu.edu.sg

1 引言

一个运作良好的社会，其标志之一是成员在需要时能够彼此合作。社会联系是获取帮助的自然途径，大量实证研究也支持网络结构与合作活动之间存在关联（例如 Greif（1993年）、Putnam（2000年））。大量实验结果凸显了改变网络的能力与合作之间的因果联系。具体而言，社会网络之所以对合作至关重要，是因为它们使人们能够通过移除连边来惩罚背叛者（例如 Rand 等人（2011年））；因此，在存在通过潜在关系移除进行惩罚的威胁时，合作可能会在相应的社会网络结构中蓬勃发展。尽管有这些发现，大多数理论研究仍将网络视为外生且不可改变的（ Nava（2016年））。因此，对于网络结构与改变网络的能力相结合如何影响合作活动，我们仍缺乏理论预测与实证证据之间的紧密联系。

Jackson 等（2012）（下文简称 JRT）建立了一个模型，通过关系移除所带来的惩罚威胁，分析合作在网络中的形成。在他们的设定中，主体嵌入网络之中，并且在每个时点，一名个体被要求向其某位连接对象提供帮忙。她可以选择以自身承担成本为代价提供帮忙，也可以选择不提供帮忙并失去该连边。JRT 刻画了构成抗再谈判均衡（RPE）的网络集合——这些网络之所以稳定，是因为就惩罚链而言，移除一条连边所产生的后果过于严重，以至于任何主体都不会选择不提供帮忙。这一刻画的缺点在于，RPE 网络的集合相当庞大。为了解决这一问题，JRT 定义了抵御社会传染的稳健性，并识别出 RPE 网络的一个子集，将其称为社会关系网络。在这些网络中，不合作会导致一条局部性的惩罚链，因此整个网络能够抵御此类错误。

本文在 JRT 框架下定义了一种新颖的稳健性概念，它基于计算移除一条连边所引发的惩罚链所需的认知复杂性。要理解这条背叛链，需要进行迭代推理，而大量证据表明，人类在这方面的能力有限（Crawford 等人（2013））。此外，实证和实验研究表明，个体难以应对网络结构的复杂性及其对行为的影响（例如 Krackhardt（1990）、Dessi 等人（2016））。在理论贡献中，我们引入了认知复杂度数这一概念，根据计算 RPE 预测所需的认知负担对 RPE 网络进行分类

。认知复杂度数最低为一的网络，正是我们定义的低认知复杂性 （LCC）网络。此类网络在移除一条连边所引发的背叛链作用下会坍塌为空网络。其核心思想是，这些网络更具稳健性，因为主体因迭代推理失败而移除连边的可能性较低。

我们开展了一项实验室实验，以检验不同的网络结构（RPE、社会拼布、LCC网络）如何维持合作。参与者被随机分配到网络中的各个节点，在每个游戏回合中，系统随机选取一个节点／参与者，让其选择提供帮忙或删除一条连边。第一位参与者作出决定后，计算机再选取另一个节点，重复这一过程，直到所有连边都被删除，或所有参与者连续选择不删除任何连边为止。实验分为两个阶段。在阶段1中，参与者依次在两个不同的网络中进行上述游戏；每次分配到新网络时，都会重新分组。阶段1与阶段2之间，参与者需要完成与计算机玩家对抗的决策任务。在阶段2中，参与者在阶段1使用的两个不同网络中进行三轮游戏；每次分配到新网络时，同样会重新分组。此外，我们还通过独裁者博弈来测量社会偏好。

第一个结果是，与非 RPE 网络中的连边相比，参与者较少删除 RPE 网络中的连边。这表明，JRT 中的 RPE 概念在预测哪些网络结构更有利于合作活动方面具有行为效度。然而，将关注范围限定于社会拼布，并不会进一步促进合作。换言之，社会拼布中的参与者删除连边的可能性，与非社会拼布的 RPE 网络中的参与者一样。这表明，在本实验考察的网络中，抵御社会传染的稳健性并非决定合作活动的首要因素。

第二个结果是，与社会拼布和/或其他非 LCC 的 RPE 网络相比，参与者较少删除 LCC 网络中的连边。这验证了我们的假设：有限理性方面的考量是决定何种网络结构有利于合作的主要因素。

第三个结果是学习很重要。参与者需要时间来理解背叛的后果，而且在认知复杂性较低的网络中，他们更容易做到这一点，这进一步表明认知复杂性是维持合作的重要决定因素。在阶段1，社会偏好是决定关系移除决策的主要因素，而网络结构类型并不显著。然而在阶段2，参与者有机会通过与……对弈来学习之后，

对于计算机玩家而言，网络结构成为决定关系移除决策的重要因素，而社会偏好则不显著。此外，与其他任何类型的网络（包括社会拼布）相比，参与者在 LCC 中移除连边的可能性更低。

本文其余部分安排如下：第 2 节讨论相关文献。第 3 节介绍理论结果及由此得出的假设。第 4 节说明实验设计。第 5 节呈现研究结果，第 6 节作出总结。主要附录包含证明、理论模型的一个更一般版本以及实验说明。

2 相关文献

我们的研究与重复博弈、网络和行为经济学领域的若干理论研究和实验研究脉络相关。在简要概述经济学以外的相关研究后，我们将依次回顾这些领域，并讨论本文如何在它们之间建立新的联系。

社会结构如何决定合作行为这一问题，长期以来一直受到许多学科的关注。在社会学领域，Simmel（1950）和 Coleman（1988）的开创性研究认为，传递性或闭合性——即某人的朋友彼此是否也是朋友——对合作至关重要。然而，他们的贡献及后续研究缺乏坚实的理论基础（Sobel（2002））。大量实证文献表明，在包括社会学（如 Putnam（2000年））、管理学（如 Burt（2007年））、人类学（如 Apicella 等人（2012年））和政治学（如 Bond 等人（2012））在内的许多学科中，合作与社会网络特征之间存在关联。然而，网络的内生性，加上难以将网络结构的影响与不可观测的个体特征区分开来（Manski（2000年）），意味着这些研究难以识别网络结构如何因果性地影响合作行为。

由于难以将网络形成与囚徒困境类型的博弈结合起来以刻画合作，经济学文献中的大多数理论研究都将网络视为外生给定。例如，Haag 和 Lagunoff（2006）表明，维持合作的最优网络取决于偏好的分布；当偏好异质性足够大时，完全连通的团簇是最优的。[1] Jackson 等（2012）首次将网络形成的约化模型

[1]Wolitzky（2013）定义了一种新颖的中心性度量，以表明在整体合作水平最高的均衡中，中心性更高的参与者会进行更多合作。其他相关贡献包括 Bloch 等人（2008 年）以及 Lippert 和 Spagnolo（2011 年）的研究。关于这一文献的全面综述，参见 Nava（2016 年）。

与网络上的合作博弈结合起来。第 3 节详细介绍他们的框架，因为我们论文中的理论模型是其约化形式版本。Jackson 等（2012）的主要成果是刻画 RPE 网络集合，并识别出一类能够抵御社会传染的社会关系网络。我们在他们的理论研究基础上，引入一种新颖的概念，根据有限理性的考量从 RPE 网络中进行选择，并刻画这一均衡子集。我们论文的主要贡献是通过实验检验这些均衡在维持合作方面的行为有效性。

早期关于网络中合作的实验研究也聚焦于网络外生的情形。Cassar（2007年）发现，在由 8 个节点构成的三种网络中，合作水平没有显著差异。后续研究在结构和规模不同的网络中证实了这一发现。[2] 近期的实验研究则将网络内生化，并表明，能够通过切断连边和/或拒绝连接提议来惩罚背叛者，会促进合作（Rand 等人（2011年）、Wang 等人（2012））。[3] 此前的这些研究都缺乏理论框架，而我们的实验则专门设计用于检验精确的理论预测。

实验（Dessi 等人（2016年））和实证（Breza 等人（2018））证据表明，人类对社会网络结构的感知既存在偏差，也受到局限。因此，行为经济学的见解似乎与理解社会网络结构如何影响行为密切相关。尽管两者显然存在联系，但行为经济学与网络研究交叉领域的论文却寥寥无几。[4]

具体而言，我们考察个体的有限理性如何有助于识别一组均衡，从而预测网络如何影响行为。多项实证和实验研究表明，人类会进行迭代思维来解决战略问题（Crawford 等人（2013））。基于认知层级（Camerer 等人（2004））和/或 k 层级推理（例如 Nagel（1995）、Costa-Gomes 等人（2001））的结构模型，已成功应用于解释诸如拍卖（Crawford 和 Iriberri（2007年））、市场进入（Goldfarb 和 Xiao（2011年））以及战略沟通（Crawford（2003年））等领域中的行为。在这篇论文中，我们应用这一逻辑

[2]具体而言，Kirchkamp 和 Nagel（2007年）发现，不同规模的环形网络之间没有显著差异；而 Gracia-L´azaro 等人（2012）发现两个大型网络之间没有差异。一个例外是 Rand 等人（2014），他们发现，当合作带来的收益足够大时，网络结构会产生一定影响。[3]这种网络惩罚机制的有效性取决于有关他人声誉的信息（Gallo 和 Yan（2015年），Cuesta 等人（2015年））、对社会网络结构的了解（Gallo 和 Yan（2015年））、监测技术的准确性（Gallo 等人（2022年）），以及关系纽带的强度（Shirado 等人（2013年），Gallo 等人（2019年））。关于全面综述，请参见 Choi 等人（2016年）。[4]例外包括 Ushchev 和 Zenou（2020），他们将从众行为纳入网络博弈；以及 Gallo 和 Langtry（2020），他们研究了确认偏误对社会学习的影响。

迭代思维来识别一组只需进行一步迭代即可弄清背叛全部后果的 RPE 网络，并且我们表明，与其他均衡相比，这些网络中的合作程度更高。

据我们所知，我们是首篇探讨有限理性在维持合作中作用的论文。鉴于均衡多重性在网络问题中无处不在[5], ，这一洞见或许也适用于其他网络发挥重要作用的情境。

3 理论

3.1 模型

本文考察的理论框架是 Jackson 等（2012）模型的约化形式版本（下文简称 JRT）。本节介绍相关的网络概念和约化形式博弈。最后，我们讨论对 JRT 框架作出的主要简化。

网络。有限集合 $N = \{1, ..., n\}$ 个代理人由一个无权无向图 g 表示的社会网络连接。 ij 表示 i 与 j 之间的一条连边，图 $g - ij$ 表示从 g 中删除连边 ij 后得到的网络。[6]主体 i 在 g 中的邻域为 $N_i(g) = \{j|ij \in g\}$。 $d_i(g) \equiv |N_i(g)|$ 表示 i 在 g 中的度。 $D(g)$ 表示网络 g 对应的度数剖面，即 $D(g) \equiv (d_1(g) ..., d_n(g))$。如果对于所有 i， $D(g) > D(g')$ 均有 $d_i(g) \geq d_i(g')$，且对某个 i 严格不等，我们就称 $D(g) > D(g')$。空网络是没有任何连边的网络 g。完全网络是满足以下条件的网络：对于所有 i、 $j \in N$， $ij \in g$。三角网络是由三个节点构成的完全网络。[7] 如果 $ij \in g'$ 仅当 $ij \in g$ 时，我们称 g' 是 g 的子网络。网络 g 中的游走是节点序列 i_1、 i_2、.....、 i_K，其中从 1 到 $K - 1$ 的每个 k 都满足 $i_k i_{k+1} \in g$。网络 g 中的简单环是游走 g、 i_1、 i_2、.....、 i_K，满足 $i_1 = i_K$，且唯一重复出现的顶点是 i_1 和 i_K。

博弈。 令 $t = \{0, 1, ...\}$ 表示离散时间段。博弈从时间 $t = 0$ 的某个初始网络 g_0 开始。考虑时间段 t 和 $ij \in g_t$， i 在 t 向 j 请求帮助的概率为 p。令 $n(n-1)p \leq 1$，并且令时间段之间的间隔足够短，从而我们可以假设每个时间段内至多需要一次帮助

[5]例如，网络形成（Jackson 和 Wolinsky，1996）、公共物品博弈（Bramoull´e 等，2014）以及社会学习（Bala 和 Goyal，1998）。[6]本文始终假设不存在自连边，即对所有 i 均如此。[7]就本文而言，由三个节点构成的完全网络，其余节点均孤立，也称为“三角网络”。

在任何给定时间段内，所有代理人合计至多需要一次帮助。正如 JRT 将在后文详细讨论的那样，这可以作为泊松到达过程的代理。

当主体 j 被要求帮助主体 i时，主体 j 可以选择提供帮助或拒绝帮助。提供帮助会使主体 j付出 $c > 0$的成本，为主体 i 带来 $v > c$的收益，并且不会改变网络。拒绝帮助则意味着未来各期永久失去 ij 连边 $g_{t+1} = g_t - ij$，但双方主体都不会因此产生任何成本或收益。假设主体按照 $\delta \in (0, 1)$折扣因子对未来收益进行折现，那么主体 i拥有永久连边 $ij \in g$ 的预期效用为 $b \equiv p(v - c)/(1 - \delta)$。这表示永久互惠关系的现值。本文始终假设 $2b > c > b$。附录 A 讨论了将分析推广至所有 c 和 b的情况。请注意，这是一个完全信息博弈，即主体完全了解博弈中每个节点上的所有行动。

约化形式。 为简化阐述并使模型与我们的实验设置相匹配，我们沿以下两个维度对 JRT 模型采用了约化形式。

首先，在原始 JRT 框架中，代理人会在每个时期同时宣布自己愿意保留的连边，并在此之后作出帮助决策 t 。然而，主体 i 没有策略上的理由删除与另一主体 j之间的连边，因为保留连边没有成本，还能让主体 i 未来有机会向主体 j请求帮助。因此，为了聚焦于帮助交换阶段，我们在理论和实验中都省略了这一阶段。

其次，我们将研究范围限制在 $2b > c > b$ 区间内。下界与 JRT 相同，使我们能够聚焦于这样一个有趣情形：简单的双边关系无法维持合作。上界则简化了均衡网络的刻画，且与实验中的校准相一致。

3.2 结果

本节第一部分在简化形式模型的背景下，总结了 JRT 对均衡预测的刻画。遵循他们的方法，本节刻画了能够抵御社会传染的社会关系网络均衡子集。第二部分则引入认知复杂性这一新概念，基于行为考量，提供一种筛选能够抵御社会传染的均衡的替代方法。

JRT 使用免于重新谈判的均衡（下文简称 RPE）概念分析该博弈。关于他们对该博弈中 RPE 的定义，详细讨论请参阅其论文。这里我们简要重述他们的定义，并聚焦于与在我们的约化形式模型中提出第3.3节假设相关的结果。特别是，假设 $2b > c > b$ 对于简化后续的符号、陈述和阐述至关重要。首先，以下是将传递临界（TC）网络的定义调整至我们的简化模型后的版本。

定义 1. TC 网络类的生成方式如下：定义 k 为网络中的连边数。对于 $k = 0$，定义 $TC_0 = \{g^{\emptyset}\}$。对 k作归纳， TC_k满足 $g \in TC_k$ 当且仅当 $\forall i,\ ij \subset g,$ $\exists g' \subset g - ij$ 满足

- $g' \in TC_{k'}$ 对某个 $k' \leq k - 2$成立；
- $d_i(g') \leq d_i(g) - 2$
- $\nexists g'' \in TC_{k''}$ 使得 $g'' \subset g - ij$ 且 $D(g'') > D(g')$。

直观而言，TC 概念指出，在所有同样属于 TC 的延续子网络中，失去连边的个体必须至少失去 2 条连边。JRT 的一项关键结果是证明 RPE 与 TC 网络集合之间存在一一对应关系。

命题 1. ***(JRT)*** *一个网络是 RPE，当且仅当它是传递临界的。*

其直观含义是，在决定接受还是拒绝帮助时，代理人会考虑拒绝帮助后最终形成的网络。如果失去帮助交换关系所造成的损失大于提供帮助的成本（即因未向 $2b > c > b$ 提供帮助而至少删除了与该个体相连的 2 条连边），那么该代理人就会提供帮助。如果所有代理人为其每一条连边提供帮助都是最优选择，那么该网络就是一个 RPE 网络。[8]

命题 1 的一个缺点是预测能力有限，因为 TC 网络的类别相当庞大。此外，一些 TC 网络无法稳健地抵御因意外和/或代理人未能计算 RPE预测而导致的连边随机删除。JRT 在 TC 网络这一类别中引入了一种更强的均衡概念，即“抵御社会传染的稳健性”：删除一条连边造成的是“局部”而非“全局”损害。这些网络能够防止代理人违背 RPE预测删除连边时，整个社会随之瓦解。

定义 2。如果网络 g 属于一个包含 $g_0 = g$ 的纯策略子博弈完美均衡的一部分，且该均衡为 RPE 并可持续，那么该网络**能够抵御社会传染**。

[8]详细证明请参见 JRT 中的附录。

满足以下条件：对于任意 RPE $g' \subset g$ 的任何子博弈延续，以及任意 i 和 $ij \in g'$，如果 i 删除了与 ij 之间的连边，则该延续会导向 g''，使得如果 $hl \notin g''$，那么 $h \in N_i(g') \cup \{i\}$ 且 $l \in N_i(g') \cup \{i\}$。

对于能够抵御社会传染的网络，如果某个主体删除了与 RPE 预测相悖的连边，那么在稳态下，唯一发生的连边删除都涉及该主体及其邻居。JRT 的一项关键成果是证明了能够抵御社会传染的网络与一类被其命名为“社会拼布”的网络之间存在一一对应关系。

定义 3。社会拼布是三角形网络的并，且网络中不存在涉及超过 3 个节点的简单环。

命题 2。 ***(JRT)*** 一个网络能够抵御社会传染，当且仅当它是一个社会拼布。

直观地说，如果一个主体删除一条连边，那么只有该连边所属的三角形网络会消失。其他三角形网络则不受影响，因为每个三角形网络都是 RPE，能够自我维持。因此，只有删除连边的主体及其邻居会受到影响，损害仍局限于局部范围。

社会关系网络可以通过将传染限制在网络的一小部分范围内，以一种机械性的方式遏制传染。如果随机删除连边纯粹是由偶然因素引起的事件，并且所有连边受到影响的可能性均相同，那么这是一种颇具吸引力的解决方案。然而，在现实中，导致连边被删除的错误可能源于主体的有限理性，使其无法计算RPE预测。如果有限理性是删除错误的根源，那么连边删除不仅取决于主体的（有限）理性水平，还取决于在特定网络环境中计算RPE预测的难度。

在此，我们基于有限理性的考量，提出一种在 RPE 均衡中进行选择的替代性概念。具体而言，我们定义了“认知复杂度数”（cognitive complexity number）的概念，用于根据计算 RPE预测所需的认知负担对 RPE 网络进行分类，并重点研究认知复杂度数等于 1 的网络类别。

定义 4. 用 $cc(g)$ 表示网络 g的**认知复杂度数**，并假设 $cc(g^{\emptyset}) = 0$。假设我们有一个TC网络 g，且g 的最大 TC 子网络为 $g' \subset g$，那么 $cc(g) = cc(g') + 1$。如果 $cc(g) = 1$，我们就将 g 定义为**低认知复杂性（LCC）**网络。

鉴于计算 RPE预测需要计算 TC网络，认知复杂度数的概念是基于 TC网络的定义提出的。

具体而言，如果主体拒绝帮助，她就需要确定最大的 TC 子网络。如果该子网络不是空网络，主体就必须反复识别更小的子网络，直到得到空网络。她需要经历的迭代次数越多，网络的认知复杂性就越高。我们将移除一条连边后便会坍缩为空网络的网络定义为 LCC网络，因为从认知角度来看，这类环境最容易理解拒绝帮助所带来的后果。以下命题刻画了 LCC网络这一类网络。

命题 3. 一个网络是 *LCC*，当且仅当它是一个简单环。

直观上，这是因为：如果一个主体只有一条与自己相连的连边，那么当有人请求她帮忙时，她会拒绝，因为提供帮助的成本高于保留这条连边可能带来的任何收益。这意味着，如果简单环中的任意一条连边断开，就会引发一连串的删除，最终网络将变为空网络。因此，简单环是 LCC。由于有连边的主体至少有两条连边，所有非空 RPE 网络至少包含一个简单环。因此，只有简单环是 LCC，因为其他所有网络经过这一过程后，至少会留下一个简单环，而不会变为空网络。这一结果意味着，可以将简单环视为一种“基本单元”，以帮助我们构造认知复杂度数更高的 RPE 网络。附录 A 给出了详细证明。

在 $2b > c > b$ 参数范围内，存在一个 RPE 网络，同时满足 LCC 和抵御社会传染的稳健性这两个均衡概念。

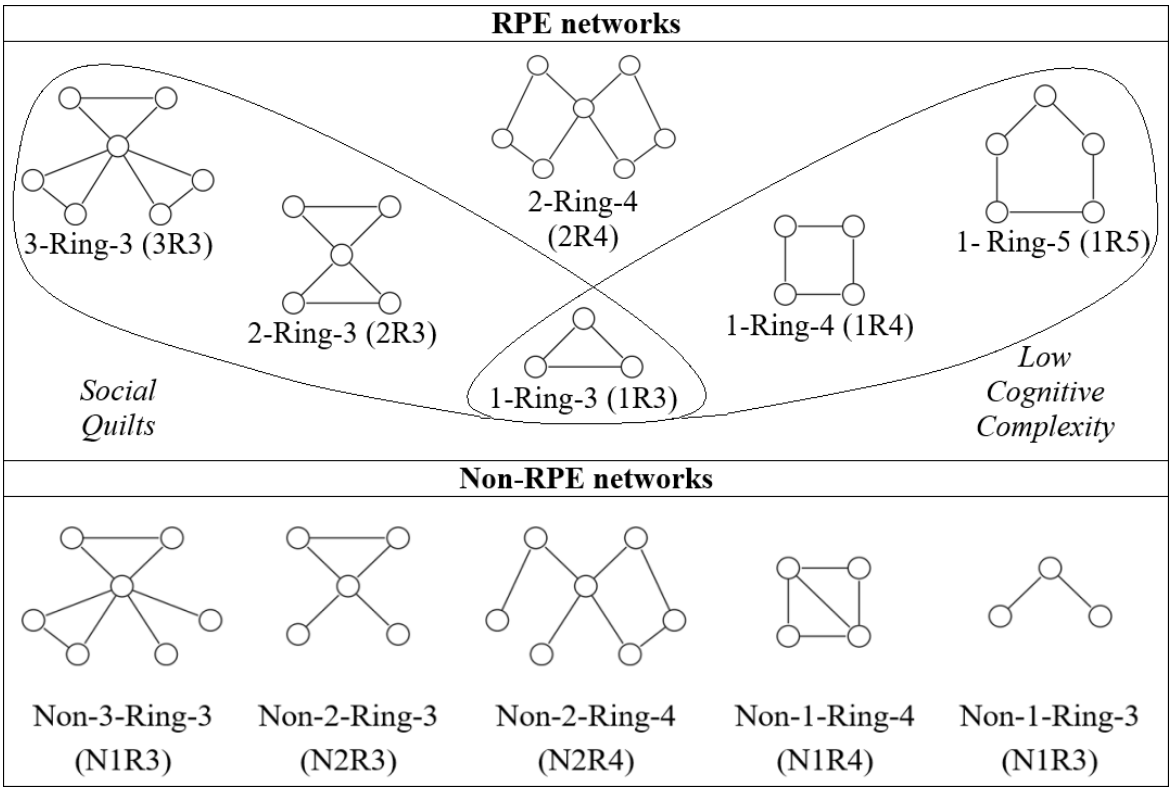
推论 1. 三角网络是唯一同时满足 *LCC* 和 *SQ* 的网络。

根据定义 3 和命题 3，这一结论成立，因为三角形网络既属于社会拼布，也属于简单环。根据定义 3，其他涉及 3 个以上节点的简单环则不再属于社会拼布。

3.3 假设

本节列出并讨论我们在实验中研究的假设。对命题 1 的预测能力进行基本检验，就是比较 RPE 网络与非 RPE 网络中的合作水平，前者应更高。图1的上半部分展示了我们在实验中研究的六个 RPE 网络，而图1的下半部分展示了我们与之进行比较的五个非 RPE 网络。在我们的实验设置中，合作意味着不删除连边，因此我们的第一个假设如下。

图1：我们实验设计中的网络



H1：与非 *RPE* 网络相比，参与者在 *RPE* 网络中删除连边的可能性较低。

正如我们在第 3.1 节中所讨论的，RPE 网络的类别相当广泛，因此这一均衡概念的预测能力有限。例如，尽管我们的实验中六种 RPE 网络在结构上存在明显差异，但该概念无法对它们加以区分。JRT 提出将社会拼布作为一种精化方法，以识别一类更有可能维持合作的网络，因为这些网络能够抵御传染。鉴于传染在 SQ 网络中始终保持“局部性”，与其他非 SQ 类型的 RPE 网络中的参与者相比，参与者删除连边的可能性应该更低，因为他们卷入传染链的概率也更低。在我们的设计中，我们考察了三种属于社会拼布的 RPE 网络。这些网络由一个、两个或三个包含三个节点的环组成，并且有一个属于所有环的中心节点。如图1左上部分所示，这些网络分别标记为 x-Ring-3，其中 $x \in \{1, 2, 3\}$。由此，我们提出第二个假设。

H2：与非 *SQ* 的 *RPE* 网络相比，参与者在 *SQ* 网络中删除连边的可能性较低。具体而言，与 *x-Ring-y* 网络相比，参与者在 *x-Ring-3* 网络中删除连边的可能性较低，其中 $x \in \{1, 2, 3\}$ 和 $y > 3$。

在第 3.1 节中，我们提出 LCC 网络这一新概念，用以识别 RPE 网络中的一个子集，在这些网络中，合作更有可能得以维持。其核心思想是：在某些网络中，网络结构使参与者能够轻松地从认知上看出不合作会导致的传染链，因此他们更有可能合作。与社会拼布这一概念相比，这是一种划分出一组稳健 RPE 网络的不同方法。在我们的实验设计中，我们考察了三个由一个包含三个、四个和五个节点的环构成的 LCC RPE 网络。因此，我们将它们分别标记为 1-Ring-y，其中 $y \in 3$，4，5，如图1右上部分所示。请注意，如图1所示，1-Ring-3 是我们实验中唯一同时属于 SQ 网络和 LCC 网络的 RPE 网络。这引出了我们的第三个假设。

H3：与非 *LCC* 的 *RPE* 网络相比，参与者在 *LCC* 网络中删除连边的可能性较低。具体而言，与 *x-Ring-y* 网络相比，参与者在 *1-Ring-y* 网络中删除连边的可能性较低，其中 $x > 1$ 和 $y \in \{3, 4, 5\}$。

4 实验设计与流程

实验在南洋理工大学（NTU）进行，并使用 oTree 编程（Chen 等，2016年）。共有 225 名来自 NTU 各专业的学生参与了我们的实验。每场实验开始时，我们都会为每位参与者随机分配一个数字 ID，作为其在整个实验过程中的身份标识，以确保匿名性。参与者持有一份纸质版说明，实验者朗读说明时，说明内容也会显示在电脑屏幕上。本节其余部分将介绍该博弈，并说明实验的整体流程。

在每个网络博弈中，本场次的受试者会根据所参与网络的规模分组。[9] 随后，组内每位受试者都会被随机分配到网络中的一个节点。在每一轮中，计算机会随机选取一个节点，分配到该节点的受试者必须决定删除一条连边，或保留所有连边。[10] 第一位参与者做出决定后，计算机会选取另一个节点，并在下一轮重复这一过程。节点选取顺序是随机的，但在第二次选取某个节点之前，必须先选取所有其他节点。参与者只能看到这些内容。

[9]如果参与者人数不能被网络规模整除，则随机挑选“多出”的参与者旁观。[10]如果参与者未作出选择，60 秒后计算机将自动选择不删除连边。

网络在他们需要作出决策时，而且他们不知道节点选择的顺序，也不知道其他参与者的决策历史。

由于实验无法实际模拟随时间折现的流动，设计无法完全按照第 3.1 节中的理论设定复现互惠行为。不同于让一次互惠行为使接受者获得 v 的收益、同时使施予者承担 c的成本，我们采用替代方案：对于最终在游戏结束时仍与参与者相连的每条连边，参与者均获得一次性收益 b 。为保持第 3.1 节中的动态特征和 RPE预测，我们允许参与者每删除一条连边就获得 c，这相当于他们拒绝实施互惠行为时所获得的相对收益（因为他们可以节省 c的成本）。

然而，这一新结构引入了第 3.1 节模型中不存在的全新策略因素。作为例子，考虑一个参与者为$\{i, j, k\}$的三角网络，并假设 i拒绝向 k提供互惠行为。在 JRT框架中， ik连边会断开，网络不再是 RPE，因此会立即坍缩为空网络，结果 i 会因其拒绝行为立即失去两条连边。现在考虑我们的实验设计。当 i 移除该连边并获得 c时，参与者仍有机会通过删除剩余两条连边而集体获得总计 $2c$ 的收益。这就产生了一个可能的特殊情况。假设轮流顺序为 $i \to j \to k \to i$。假设 i 决定切断与 k之间的连边。在 i作出决定后，轮到j决定删除哪条连边，而 j 可以选择删除与i 或 k之间的连边。如果 j 删除 jk 连边，那么 k 在自己的回合中就没有连边可删除，而 i 可以在下一回合删除 ij 连边。尽管发生这一情形的概率 h 很低，我们仍需设定 $2b > c + hc > b$ 以应对这一特殊情况。通过将 c 设定为接近 b，我们确保风险厌恶、风险中性甚至略微偏好风险的参与者，仍会发现按照均衡预测进行操作是最优的。

为了减轻这一策略效应的影响，我们为每位参与者删除后保留下来的每条连边设置了 $b = 100$ 分，并为其删除的每条连边设置了 $c = 110$ 分。这些参数处于主模型中的 $2b > c > b$ 范围内，并且考虑到了上述边界情况，因为 c 接近 b。

本游戏与第 3.1 节中的理论设定还有一点不同：决策时选取的是节点，而非连边。原因在于，在实验中规模（相对）较小的网络里，若选取连边，会导致不同参与者被选中作出决策的概率存在显著差异（例如，在 3-Ring-3 中，中心节点被选中的概率是其他每个节点的三倍）。因此，要设计一种随机连边选择机制，同时避免让某位参与者有更多机会参与游戏，将会颇具挑战性，尤其是在

表1：处理组的任务、参与者和轮次。

	处理						总计
	1	2	3	4	5	6	
	网络						
阶段1	1R3, N1R3	1R4, N1R4	1R5, 2R3	2R4, 3R3	2R3, 1R3	2R3	
计算机任务	所有参与者都参与图1中的每个网络。						
阶段2	N1R3, 1R3, N1R3	N1R4, 1R4, N1R4	2R3, 1R5, 2R3	3R3, 2R4, 3R3	1R3, 2R3, 1R3	2R3	
参与者	48	40	50	42	30	15	225

注：每种处理有2场次。在同一处理下，场次之间唯一的区别是阶段1和阶段2中所见网络的顺序相反。对于每种处理，均具体说明了网络、每轮所进行的网络顺序以及参与者人数。

理论中被排除的方式。

实验流程见表1。在阶段1中，参与者在两个不同的网络上进行上述游戏。在第一个网络的游戏结束后，我们会重新分组，以尽量减少不同游戏之间的溢出效应，随后参与者在第二个网络上进行游戏。阶段1结束后，参与者将进行一项针对计算机玩家的个人决策任务，具体内容将在下文详细介绍。在阶段2中，参与者在阶段1使用的两个不同网络上进行三轮游戏：第一轮和第三轮是在阶段1中使用的第二个网络上进行，第二轮则是在阶段1中使用的第一个网络上进行。为控制顺序效应，我们另行开展了一场实验，在阶段1中采用相反的网络顺序。与阶段1类似，每完成一个网络上的游戏后，都会重新分组。

在阶段1和阶段2之间，参与者会与计算机玩家进行同一场游戏，我们称之为计算机任务。我们告知他们，其他每个节点都是一名计算机玩家，且所有计算机玩家都会做出最优决策。具体而言，我们将计算机玩家设定为：若网络是 RPE，则不删除任何连边；若网络不是 RPE，且某条连边在均衡中应被删除，则删除该连边。参与者会针对图1中的11种不同网络重复进行这场游戏，因此在每场实验中，我们可以比较参与者在每种网络中与其他参与者对战时的表现

与他们对战计算机玩家时的表现。[11]

让参与者与计算机玩家对弈有两个原因。首先，这能生成有用的数据，帮助我们区分社会偏好和有限认知能力究竟哪一种是决策的驱动因素。当参与者在非 RPE 网络中与其他参与者对弈时未能删除一条连边，这可能是因为他们无法理解均衡，也可能是出于利他主义；而与计算机对弈时，后一种因素显然会受到抑制。其次，这让我们能够区分参与者在非 RPE 网络中删除一条连边，究竟是因为自身认知能力有限，还是因为他们认为其他参与者的认知能力有限（因此，删除这条连边是理性的，因为无论如何它都不会保留）。计算机玩家总是做出理性（最优）决策，因此决策的后一种驱动因素显然不存在。由此，通过让参与者接触认知复杂度数不同的网络，这项任务使我们能够部分识别参与者的认知复杂程度。

在实验一开始，我们通过独裁者博弈来测量社会偏好。每位参与者都要决定从 1 新加坡元的禀赋中拿出多少分配给另一位随机选出的参与者。为排除互惠作为影响分配决策的因素，我们确保参与者绝不会成为其受赠者的分配对象。为确保收益不会影响实验中的决策，博弈结果只会在实验结束时告知参与者。

在实验接近尾声时，我们使用 Holt-Laury 多重价格列表风险测量法（Holt和Laury（2002））来测量参与者的风险偏好。我们还在实验后开展问卷调查，收集参与者的个人特征数据，例如博弈论经验、年龄和性别。除独裁者博弈和 Holt-Laury 风险测量所得收益外，我们还随机抽取阶段1的一轮和阶段2的两轮，以确定每位参与者的总报酬。实验场次平均持续75分钟，每位参与者的平均收入为21新加坡元。

5 实证结果

我们首先将回归分析的重点放在决策层级上。每当参与者被分配到一个网络中时，他们都必须决定是保留所有连边，还是删除其中一条。例如，假设三名参与者被分配到 1R3 网络中进行博弈。显然，在这个网络博弈中至少会有 3 个

[11]在计算机任务中，参与者总是被分配到度最高的节点之一。当存在多个度最高的节点时，则随机进行分配。

决策，因此该网络博弈至少会为决策层面数据贡献三个观察单位。我们采用以下形式进行 Logit回归，其中每个观察单位都是参与者作出的一项决策，标准误按被试层面聚类。

$$Y_{i,s} = \beta_0 + \beta_T \mathbf{T}_i + \beta_C \mathbf{C}_s + \epsilon$$

因变量 $Y_{i,s}$ 是二元变量——如果受试者 s 在决策 i 中选择删除一条连边，则取值为 1，否则取值为 0。$\mathbf{T}_i$ 表示一个指示变量向量，用于捕捉作出决策 i 时所处的网络是 RPE 网络、SQ 网络、LCC网络还是 1R3 网络。$\mathbf{C}_s$ 表示一个控制变量向量，这些控制变量因作出决策 i的受试者 s 而异。使用的全部控制变量包括受试者的性别、使用 Holt-Laury多重价格列表风险 elicitation 程序测得的风险偏好，以及一个表示（缺乏）利他主义的指示变量：若某人在独裁者博弈中将所有点数都分配给自己，则该变量取值为 1，否则取值为 0。 β_0 和 ϵ 分别表示常数项和残差项。

5.1 均衡预测

表 2 展示了用于检验第3.3节假设的主要回归分析。假设 1（H1）指出，与非 RPE 网络相比，参与者在 RPE 网络中删除连边的可能性较低。设定 (1) 将是否删除连边这一决策对“网络是 RPE 网络”进行回归。该系数显著为负（$p < 0.001$），验证了以下假设：受试者在 RPE 网络中删除连边的可能性低于在非 RPE 网络中的可能性。因此，正如理论所预测的那样，RPE 网络比非 RPE 网络更有可能得以维持。

第（2）列和第（3）列通过分别将 RPE 变量拆分为 SQ 网络和 LCC 网络，复现了该分析。然而，假设2和假设3关注的是不同类型 RPE 网络之间的比较。为直接检验这些假设，我们还加入了设定（4）—（7），将数据限制为仅 RPE 网络上的决策。此外，如图1所示，分析中的一个混杂因素是，1R3 网络同时属于 SQ 和 LCC。为分离其影响，第（5）列和第（7）列引入了一个虚拟变量，以区分 1R3 与其他 SQ 或 LCC 网络的影响。下面我们依次讨论各项假设。

对于 H2，表 2 的第 (2) 列将 RPE 网络分为“RPE 且非 SQ”和“SQ”。这两个变量的系数均显著为负（$p < 0.001$），表明受试者在这两种类型的 RPE 网络中删除连边的可能性都较低，这再次与 H1 一致。然而，一旦考察系数的大小，

就会发现，SQ 的系数并不大于“RPE 且非 SQ”的系数，因此这些结果无法证实 H2 中的说法，即与非 SQ 的 RPE 网络相比，受试者在 SQ 网络中删除连边的可能性较低。

第（4）列直接表明，与其他类型的 RPE 网络相比，受试者在 SQ 网络中删除连边的可能性并未降低。此外，在第（5）列中单独考察 1R3 的影响后，实际上可以发现，与其他类型的 RPE 网络相比，受试者在 SQ 网络中删除连边的可能性显著更高 （$p < 0.001$）。因此，数据显然不支持假设 2，即社会拼布是一种精化方法，能够识别出一组可以维持合作的网络。

对于 H3，第 (3) 列将 RPE 网络划分为“LCC”和“RPE 与非 LCC”。有趣的是，“RPE 与非 LCC”网络的系数现在不再显著，这表明，在从 RPE 集合中排除 LCC 网络后，与非 RPE 网络相比，受试者在 RPE 网络中删除连边的可能性并未降低。相比之下，LCC 的系数显著为负（$p < 0.001$），验证了 H3 中的论述，即与其他类型的非 RPE 网络相比，受试者在 LCC 网络中删除连边的可能性较低。

第（6）列直接表明，与其他类型的 RPE 网络相比，受试者在 LCC 网络中删除连边的可能性较低（$p < 0.001$）。此外，即使将 1R3 网络的影响单独区分出来，这一效应仍然存在。在设定（7）中，“1R3”和“LCC 且非 1R3”变量均显著（$p < 0.001$），这表明，即使剔除了实验中唯一一个同时属于 SQ 的 LCC 网络的影响，与其他类型的 RPE 网络相比，LCC 网络中的合作程度仍然更高。基于认知复杂性对 RPE 网络集合进行精化具有行为效度——它识别出一组合作程度较高的网络，因为参与者更容易理解不合作的后果。

5.2 社会偏好与学习

理解不合作后果的复杂性，可能意味着受试者需要时间来学习均衡策略行为。在第 1 阶段和第 2 阶段之间安排计算机任务的一个好处，是让参与者在与其他参与者进行博弈时，先接触相同网络中的决策，从而促进这一学习过程；他们也知道计算机玩家所做的决策是最优的。本节将分别分析参与者在第 1 阶段和第 2 阶段的决策，以考察学习在决定均衡策略行为方面的重要性，以及学习的作用是否因均衡类型和／或网络结构而异。

表 3 进行了与表 2 类似的分析，将数据按阶段分层

Table 2: Logit regressions of "Delete" at the decision-level

Sample:	All networks in Phase 1 and Phase 2			All RPE networks in Phase 1 and Phase 2			
Baseline:	Non-RPE networks			{2R4, 1R4, 1R5}		{2R4, 2R3, 3R3}	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
RPE	-0.904***						
	(0.144)						
SQ		-0.787***		0.391			
		(0.173)		(0.242)			
RPE & non-SQ		-1.120***					
		(0.201)					
LCC			-1.206***			-1.039***	
			(0.159)			(0.259)	
RPE & non-LCC			-0.131				
			(0.249)				
1R3					0.005		-0.993***
					(0.257)		(0.269)
SQ & not 1R3					1.134***		
					(0.330)		
LCC & not 1R3							-1.103***
							(0.321)
β_0	0.578**	0.554**	0.605**	-1.145**	-1.045*	0.032	0.007
	(0.243)	(0.245)	(0.246)	(0.556)	(0.558)	(0.514)	(0.520)
Observations	1,501	1,501	1,501	367	367	367	367
Other Controls	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Pseudo R2	0.0329	0.0341	0.0444	0.0228	0.0524	0.0528	0.0532
Likelihood	-872.1	-871.0	-861.8	-245.9	-238.4	-238.3	-238.2

Note: Logit regressions of "Delete" using decision-level data. Each observation is a decision made by a subject, where "Delete" = 1 if the subject's decision is to delete a link. Robust standard errors are clustered at the subject-level.

1 和 2。标有奇数的列包含仅使用阶段1数据进行的分析，而标有偶数的列包含仅使用阶段2数据进行的分析。

仅观察阶段1数据，列（1）、（3）和（5）表明，与非 RPE 网络相比，合作行为在 RPE 网络或 SQ 网络中并不更为常见。同样，列（7）显示，与非 RPE 网络相比，合作行为在 LCC 网络中出现的可能性仅略高（$p = 0.09$）；列（9）则显示，这一显著性是由 1R3 中略高的合作行为所驱动的，而不是由其他类型的 LCC 网络所驱动的（p =0.07）。换言之，在阶段1中，网络结构与合作行为的相关性很弱。相反，合作行为的一个显著预测因素是社会偏好。在所有仅包含阶段1数据的奇数列中，将独裁者博弈的全部点数分配给自己的自利个体更有可能删除连边（$p < 0.05$）。当参与者首次接触该博弈时，他们往往会根据社会偏好而非均衡考量作出决策。

然而，在阶段2中，参与者有机会从计算机任务中学习之后，均衡考量便成为预测合作决策的重要因素。设定（2）显示，正如 H1 所述，与非 RPE 网络相比，参与者在 RPE 网络中删除连边的可能性较低（$p < 0.001$）。如果仅考察 SQ 网络，第（4）列显示，与非 RPE 网络相比，参与者在 SQ 网络中删除连边的可能性较低（$p < 0.001$）。然而，第（6）列显示，这一效应是由同时属于 SQ 和 LCC 的 1R3 网络所驱动的——与非 RPE 网络相比，参与者被分配到其他类型的 SQ 网络时，合作的可能性并未提高（$p = 0.44$），因此我们几乎没有发现支持 H2 的证据。

鉴于提出 LCC 概念的动机在于理解这些均衡所需的计算负担较低，我们预期在计算机任务促进学习之后，LCC 网络中会出现均衡策略行为。第（8）列证实，阶段2中 LCC 网络的合作程度高于非 RPE 网络（$p < 0.001$）。此外，第（10）列显示，LCC 网络中的合作并非仅由 1R3 网络中的合作所驱动——即使排除 1R3 网络，LCC 系数仍然显著（$p < 0.001$）。

实验数据表明，与 SQ 相比，LCC 是预测合作行为的更优指标。表 4 中的分析进一步深入比较了 SQ 和 LCC 网络中的合作情况。首先，我们剔除了来自 2R4 网络的数据，因为它是唯一一个既不属于 SQ 也不属于 LCC 的 RPE 网络。其次，设定 (1) 和 (2) 考察了 LCC 和 SQ 网络相对于非 RPE 网络的合作水平，

Table 3: Logit regressions of "Delete" at the decision-level

Sample:	All networks in either Phase 1 or Phase 2									
Baseline:	Non-RPE networks									
	Phase 1	Phase 2	Phase 1	Phase 2	Phase 1	Phase 2	Phase 1	Phase 2	Phase 1	Phase 2
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
RPE	-0.135	-1.285***								
	(0.232)	(0.164)								
SQ			-0.194	-1.103***						
			(0.276)	(0.197)						
RPE & non-SQ			-0.003	-1.608***	-0.001	-1.607***				
			(0.376)	(0.233)	(0.376)	(0.233)				
LCC							-0.434*	-1.612***		
							(0.256)	(0.182)		
RPE & non-LCC							0.688	-0.474*	0.689	-0.475*
							(0.469)	(0.281)	(0.469)	(0.281)
1R3					-0.568*	-1.534***			-0.568*	-1.535***
					(0.317)	(0.231)			(0.317)	(0.231)
SQ & not 1R3					0.507	-0.234				
					(0.480)	(0.314)				
LCC & not 1R3									-0.221	-1.721***
									(0.391)	(0.252)
Subject is purely selfish	0.453**	-0.008	0.449**	0.005	0.471**	-0.033	0.475**	-0.038	0.473**	-0.032
	(0.190)	(0.185)	(0.190)	(0.185)	(0.188)	(0.188)	(0.188)	(0.187)	(0.188)	(0.187)
β_0	0.524	0.661**	0.535	0.622**	0.541	0.683**	0.527	0.710***	0.542	0.696***
	(0.350)	(0.305)	(0.352)	(0.307)	(0.354)	(0.314)	(0.352)	(0.308)	(0.353)	(0.310)
Observations	599	902	599	902	599	902	599	902	599	902
Other Controls	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Pseudo R2	0.0098	0.0657	0.0101	0.0689	0.0162	0.0810	0.0179	0.0796	0.0187	0.0799
Likelihood	-344.2	-516.7	-344.1	-514.9	-342.0	-508.2	-341.4	-509.0	-341.2	-508.8

Note: Logit regressions of "Delete" using decision-level data. Each observation is a decision made by a subject, where "Delete" = 1 if the subject's decision is to delete a link. Robust standard errors are clustered at the subject-level.

此外，它们还将同时属于 SQ 和 LCC 的 1R3 网络与这两类网络区分开来。如上所见，阶段1的网络结构不显著，但在阶段2中，它成为合作的预测因素。具体而言，第 (2) 列显示，与非 RPE 网络相比，LCC 网络（$p < 0.001$）和 1R3 网络（$p < 0.001$）中的合作水平均显著更高，但 SQ 网络与非 RPE 网络之间没有差异（$p = 0.45$）。Wald 检验证实，与 SQ 网络相比，LCC 网络（$p < 0.001$）和 1R3 网络（$p < 0.001$）中的合作水平均更高。

最后，设定 (3) 和 (4) 将数据限定为 RPE 网络，并将 1R3 作为基准比较网络。仅使用阶段2数据的第 (4) 列显示，除 1R3 以外的 LCC 网络中的合作水平与 1R3 中无法区分，而 1R3 中的合作水平高于除 1R3 以外的 SQ 网络（$p < 0.001$）。同样，Wald 检验证实，LCC 网络中的合作水平高于 SQ 网络（$p < 0.001$）。

计算机任务还使我们能够区分社会偏好和/或关于其他参与者认知能力的信念是否是决策的驱动因素，因为在与计算机玩家对弈时，这两个因素并不相关。表 5 比较了参与者在阶段1和阶段2中的表现与其在计算机任务中的表现，并以同一参与者所观察到的相同网络为条件。具体而言，我们比较参与者在每一对任务中所做最优决策比例的差异（例如，阶段1的最优率与计算机任务的最优率），并按照“所有网络”、“仅 RPE 网络”、“仅 LCC 网络”和“仅 SQ 网络”对决策进行分层。在这里，我们将“最优”决策定义为计算机玩家会做出的决策（即，如果网络不是 RPE，则删除一条连边；如果网络是 RPE，则不删除连边）。受试者在某项任务中的“删除率”表示该受试者在该任务中删除决策的数量占其决策总数的比例。

参与者在阶段1中的行为表现不如计算机任务中的最优。第（1）列中的负号表明，参与者在阶段1中的决策在所有网络中都显著不够最优，而（2）—（4）中的正号表明，与计算机任务相比，参与者在阶段1中会在 RPE 网络中移除更多连边——这一决策并非最优。然而，当我们比较阶段2与计算机任务中的行为时，差异均不显著。尽管从定性上看，计算机任务中的行为仍然趋于更加最优，但不显著性表明，社会偏好和/或对其他参与者有限认知能力的信念，在决定合作行为时只是二阶考量。

表 4：决策层级“删除”的Logit回归

样本： 基准：	不包括 2R4 的所有网络 非 RPE 网络		不包括 2R4 的 RPE 网络 1R3网络	
	阶段1	阶段2	阶段1	阶段2
	(1)	(2)	(3)	(4)
对……进行*Logit*回归 “删除”				
β_{LCC}: LCC 且非 1R3	-0.220	-1.723***	0.410	-0.319
	(0.391)	(0.252)	(0.486)	(0.321)
β_{SQ}：SQ 且非 1R3	0.506	-0.238	1.096**	1.133***
	(0.484)	(0.314)	(0.528)	(0.348)
β_{1R3}: 1R3	0.569*	-1.538***		
	(0.316)	(0.232)		
观测值	593	885	114	230
其他控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
伪 R2	0.0161	0.0820	0.0332	0.0790
似然	-340.2	-495.9	-68.0	-146.8
Wald 检验				
$\beta_{LCC} - \beta_{SQ}$	-0.726	-1.485***	-0.686	-1.452***
	(0.605)	(0.393)	(0.616)	(0.402)
$\beta_{LCC} - \beta_{1R3}$	0.349	-0.185		
	(0.482)	(0.319)		
$\beta_{SQ} - \beta_{1R3}$	1.074**	1.300***		
	(0.531)	(0.356)		

注：使用决策层面数据对“删除”进行 Logit回归。每个观测值代表一名受试者作出的一项决策，其中，当受试者的决策为删除一条连边时，“删除” $= 1$ 。稳健标准误按受试者层级进行聚类。回归中删除了 2R4 网络，以统一基准。底部面板还给出了系数差异的 Wald 检验。

表 5：在受试者—任务层面检验阶段1或阶段2与计算机任务删除之间的均值差异，以及最优性比率。

样本： 比率：	所有网络 最优率	RPE 网络 删除率	SQ 网络 删除率	LCC 网络 删除率
	(1)	(2)	(3)	(4)
*Wilcoxon*符号秩检验				
阶段1与计算机任务对比	-3.538***	3.704***	2.865***	3.715***
	[82]	[78]	[47]	[76]
阶段2与计算机任务对比	-1.006	1.346	1.395	1.313
	[171]	[161]	[98]	[160]

注：方括号表示观测值的数量。每个观测值对应一名受试者在一项任务中的表现（即，每名受试者贡献了若干个 $x \in \{0,1,2,3\}$ 观测值，分别对应阶段1/阶段2）。我们检验最优性比率的平均差是否小于零，以及删除比率的平均差是否大于零。我们报告 Wilcoxon 符号秩检验的 z分数。

6 结论

本文从理论和实验两方面展示了有限理性在调节社会网络结构如何决定合作行为方面的重要性。在理论部分，我们提出了一种新的低认知复杂性概念 （LCC），用于在 Jackson 等（2012）的 JRT 框架中从合作型（RPE）均衡中进行选择。我们的两项主要贡献来自实验。首先，我们验证了 JRT模型的核心预测：RPE 均衡比非均衡网络结构更具合作性。其次，我们表明，与其他类型的均衡（RPE）网络相比，低认知复杂性网络中的合作水平更高。

我们的结果表明，有必要进一步研究有限理性与网络交叉领域的问题。网络结构的内在复杂性意味着，基于完全理性以及关于网络的完整信息所作出的均衡预测，不太可能准确描述实际行为。在网络背景下，迭代思维是应对这种复杂性的一种有吸引力的方法，因为宽泛地说，个体倾向于思考其行动对距离自身网络位置若干步之内的后果，而这个“若干”可以很容易地与个体能够进行的迭代推理步骤联系起来。本文表明，基于迭代推理的有限理性有助于在多个均衡中进行选择，从而预测网络结构如何影响合作行为。我们认为，在许多其他网络影响行为的情境中，这种方法也可能有助于解决均衡多重性问题。

我们的结果进一步证明，移除连边的能力会影响行为。鉴于大多数理论研究都将网络视为外生给定的，且

不可变的。此前纳入网络形成的实验研究往往缺乏理论基础，而且在参与者如何添加或移除连边方面，实验方案存在很大差异。相比之下，在我们的论文中，为了与 JRT 理论框架保持一致，我们采用了一种网络形成过程的约化形式，仅允许移除连边，从而得出精确的理论预测。未来一项富有价值的研究方向是将这种约化形式方法应用于其他网络博弈，从理论和实验两个层面考察纳入网络形成过程如何影响网络对我们行为的作用。

参考文献

Apicella, C. L., Marlowe, F. W., Fowler, J. H., and Christakis, N. A.（2012）。狩猎采集者中的社会网络与合作。《自然》，481(7382):497–501。Bala, V. and Goyal, S.（1998）。向邻居学习。《经济研究评论》，65(3):595–621。Bloch, F., Genicot, G., and Ray, D.（2008）。社会网络中的非正式保险。《经济理论杂志》，143(1):36–58。Bond, R. M., Fariss, C. J., Jones, J. J., Kramer, A. D., Marlow, C., Settle, J. E., and Fowler, J. H.（2012）。一项涉及6100万人的社会影响与政治动员实验。《自然》，489(7415):295–298。Bramoull´e, Y., Kranton, R., and D' amours, M.（2014）。战略互动与网络。《美国经济评论》，104(3):898–930。Breza, E., Chandrasekhar, A. G., and Tahbaz-Salehi, A.（2018）。只见树木不见森林？对网络知识的考察。技术报告，国家经济研究局。Burt, R. S.（2007）。经纪与闭合：社会资本导论。牛津大学出版社。Camerer, C. F., Ho, T.-H., and Chong, J.-K.（2004）。博弈的认知层级模型。《经济学季刊》，119(3):861–898。Cassar, A.（2007）。地方网络、随机网络和小世界网络中的协调与合作：实验性证据。《博弈与经济行为》，58(2):209–230。Chen, D., Schonger, M., and Wickens, C.（2016）。oTree——一个用于实验室、在线和实地实验的开源平台。《行为与实验金融杂志》，9(C):88–97。Choi, S., Gallo, E., and Kariv, S.（2016）。实验室中的网络。载于Bramoull´e, Y., Galeotti, A., and Rogers, B. 编，《牛津网络经济学手册》，第440–475页。牛津大学出版社。Coleman, J. S.（1988）。人力资本创造中的社会资本。《美国社会学杂志》，94:S95–S120。Costa-Gomes, M., Crawford, V. P., and Broseta, B.（2001）。正则形式博弈中的认知与行为：一项实验研究。《计量经济学》，69(5):1193–1235。

Crawford, V. P.（2003）。为获取战略优势而撒谎：对意图进行理性且有限理性的误导性陈述。《美国经济评论》，93(1):133–149。Crawford, V. P., Costa-Gomes, M. A., and Iriberri, N.（2013）。非均衡战略思维的结构模型：理论、证据与应用。《经济文献杂志》，51(1):5–62。Crawford, V. P. and Iriberri, N.（2007）。Level-k拍卖：非均衡战略思维模型能否解释赢家诅咒以及私人价值拍卖中的过度竞价？《计量经济学》，75(6):1721–1770。Cuesta, J. A., Gracia-L´azaro, C., Ferrer, A., Moreno, Y., and S´anchez, A.（2015）。声誉推动人类群体中的合作行为与网络形成。《科学报告》，5(1):1–6。Dessi, R., Gallo, E., and Goyal, S.（2016）。网络认知。《经济行为与组织杂志》，123:78–96。Gallo, E. and Langtry, A.（2020）。社会网络、确认偏误与冲击性选举。*arXiv*预印本 *arXiv:2011.00520*。Gallo, E., Riyanto, Y. E., Roy, N., and Teh, T.-H.（2022）。不确定且动态的社会网络中的合作与惩罚机制。《博弈与经济行为》。Gallo, E., Riyanto, Y. E., Teh, T.-H., and Roy, N.（2019）。强连接促进合作精英的出现。《科学报告》，9(1):1–9。Gallo, E. and Yan, C.（2015）。声誉与社会知识对合作的影响。《美国国家科学院院刊》，112(12):3647–3652。Goldfarb, A. and Xiao, M.（2011）。谁会关注竞争？美国地方电话市场中的管理能力与战略进入。《美国经济评论》，101(7):3130–61。Gracia-L´azaro, C., Ferrer, A., Ruiz, G., Taranc´on, A., Cuesta, J. A., S´anchez, A., and Moreno, Y.（2012）。人类进行囚徒困境博弈时，异质网络并不促进合作。《美国国家科学院院刊》，109(32):12922–12926。Greif, A.（1993）。早期贸易中的合同可执行性与经济制度：马格里布商人联盟。《美国经济评论》，第525–548页。

Haag, M. and Lagunoff, R. (2006). 社会规范、局部互动与社区规划。《国际经济评论》, 47(1):265–296. Holt, C. A. and Laury, S. K. (2002). 风险厌恶与激励效应。《美国经济评论》, 92(5):1644–55. Jackson, M. O., Rodriguez-Barraquer, T., and Tan, X. (2012). 社会资本与社会关系网络：互惠交换的网络模式。《美国经济评论》, 102(5):1857–97. Jackson, M. O. and Wolinsky, A. (1996). 社会与经济网络的战略模型。《经济理论杂志》, 71(1):44–74. Kirchkamp, O. and Nagel, R. (2007). 网络实验中的朴素学习与合作。《博弈与经济行为》, 58(2):269–292. Krackhardt, D. (1990). 评估政治格局：组织中的结构、认知与权力。《行政科学季刊》, pages 342–369. Lippert, S. and Spagnolo, G. (2011). 关系网络与口碑传播。《博弈与经济行为》, 72(1):202–217. Manski, C. F. (2000). 社会互动的经济学分析。《经济学展望杂志》, 14(3):115–136. Nagel, R. (1995). 猜数博弈中的逐层推理：一项实验研究。《美国经济评论》, 85(5):1313–1326. Nava, F. (2016). 重复博弈与网络。载于 Bramoull´e、Y.、Galeotti, A. 和 Rogers, B. 编，《style id='20'>《牛津网络经济学手册》, pages 113–137。牛津大学出版社。Putnam, R. D. (2000). 《独自打保龄：美国社区的衰落与复兴》。西蒙与舒斯特出版社。Rand, D. G., Arbesman, S., and Christakis, N. A. (2011). 动态社会网络促进人类实验中的合作。《美国国家科学院院刊》, 108(48):19193–19198. Rand, D. G., Nowak, M. A., Fowler, J. H., and Christakis, N. A. (2014). 静态网络结构能够稳定人类合作。《美国国家科学院院刊》, 111(48):17093–17098.

Shirado, H., Fu, F., Fowler, J. H., and Christakis, N. A. (2013). 实验合作网络中社会关系的质量与数量。《自然·通讯》, 4(1):1– 8. Simmel, G. (1950). 《格奥尔格·齐美尔社会学》, volume 92892. 西蒙与舒斯特出版社。Sobel, J. (2002). 我们能信任社会资本吗? 《经济文献杂志》, 40(1):139–154. Ushchev, P. and Zenou, Y. (2020). 网络中的社会规范。《经济理论杂志》, 185:104969. Wang, J., Suri, S., and Watts, D. J. (2012). 动态伙伴更新下的合作与同配性。《美国国家科学院院刊》, 109(36):14363–14368. Wolitzky, A. (2013). 网络监控下的合作。《经济研究评论》, 80(1):395–427.

附录 A

在本节中，我们将证明论文中的新理论结果，并讨论这些结果在论文所采用的 $2b > c > b$ 参数化之外是否仍然成立。

设 m 为满足 $mb > c > (m-1)b$ 的正整数。我们重点讨论 $m \geq 2$ 的情况，因为 $m = 1$ 是一个平凡情形，此时所有网络都是 RPE。注意，当$m = 2$ 时，这就是我们论文中的参数化。于是，定义 1 可以推广如下：

定义 5。 以下述方式生成**TC 网络**类：对于 $k = 0$，定义$TC_0(m) = \{g^{\emptyset}\}$。对 k 进行归纳， $TC_k(m)$ 满足： $g \in TC_k(m)$ 当且仅当$\forall i,\ ij \subset g,\ \exists g' \subset g - ij$，使得

- $g' \in TC_{k'}(m)$ 对某个 $k' \leq k - m$ 成立；
- $d_i(g') \leq d_i(g) - m$
- $\nexists g'' \in TC_{k''}$ 使得 $g'' \subset g - ij$ 且 $D(g'') > D(g')$。

直观地说，这与定义 1 相同，只不过需要因删除一条连边而损失 m条连边，才能阻止主体删除该连边。JRT 表明，经过对社会拼布定义的适当推广，命题 1 和 2 也适用于这种情形。

下面我们证明 $m = 2$ 情形下的命题 3，并讨论当 $m > 2$ 时将其推广到一般情形的扩展。我们首先证明三个适用于一般$m \geq 2$ 情形的引理。

引理 1。 *RPE 网络中的所有节点要么没有连边，要么拥有 m 条或更多连边。*

证明。 假设 RPE 网络中的某个节点只有 l 条连边，满足 $l \leq (m-1)$。鉴于 $c > (m-1)b \geq lb$，主体可以通过拒绝帮助获得更高的收益，因为保留所有连边所能获得的最大值为 lb。因此，该网络不可能是 RPE 网络，这就构成了矛盾。

□

引理 2。 *RPE 网络中的连边数量大于或等于有连边的节点数量。*

证明。 我们将图限制为仅包含有连边的节点，即 $g_e \subseteq g$。设 g_e 中的节点数量为 N_e，连边数量为 $|E(g_e)|$。

根据命题 1， $d_i(g_e) \geq m \ \forall\ i \in g_e$。这意味着 $\sum_{i \in g_e} d_i(g_e) \geq m \times N_e$。

鉴于根据定义， $2|E(g_e)| = \sum_{i \in g_e} d_i(g_e)$，这意味着 $2|E(g_e)| \geq m \times N_e$，因此 $|E(g_e)| \geq N_e$，因为 $m \geq 2$。

□

引理 3. 所有非空 *RPE* 网络都包含一个环。

证明。 一个有 n 个顶点的图是树，当且仅当它是连通的且有 $n-1$ 条连边。这意味着，一个有 n 个顶点且至少有 n 条连边的图包含一个环。

根据引理 2，这意味着所有非空的 RPE 网络（其中 g_e 是一个子集）都包含一个环。 □

上述引理适用于 $m \geq 2$ 的一般情形。然而，以下引理仅在 $m = 2$ 时才成立。

引理 4。 对于 $m = 2$，简单环是一个 *RPE* 网络。

证明。对于 $m = 2$，在一个简单环中，任何删除一条连边的主体都会导致被删除连边的主体只剩下一条连边。因此，该主体会删除自己剩下的那条连边，而这一删除过程会持续进行，直到我们得到一个空网络。在最终的均衡中，所有主体都失去了两条连边，因此没有主体有动机拒绝帮助，这使其成为一个 RPE 网络。

□

注意，如果 $m > 2$，引理 4 并不适用，因为 $d_i(g) = 2$，其中 i 是简单环 g中的节点，而这将与引理 1 矛盾。

现在我们证明论文中针对 $m = 2$ 陈述的以下命题。

命题 3. 对于 $m=2$，一个网络是 *LCC*，当且仅当它是一个简单环。

证明。 ($\Leftarrow$) 在引理 4 中，我们已经证明，删除简单环中的任意一条连边都会引发级联删除，最终导致网络变为空网络。因此，简单环都是 LCC。

($\Rightarrow$) 我们用反证法证明这一点。假设存在一个不是简单环的 LCC RPE 网络 g。空网络不在考虑之列。根据引理 3，该网络中存在一个简单环。设这个简单环为 g'。由于 g 不是简单环，简单环 g' 必须是 g 的真子集；也就是说， $g' \subset g$。

根据引理 4，该简单环是 RPE；即 $g' \in RPE$。根据 LCC 的定义，最大的真子集 RPE-网络必定是空网络。然而， $g' \subset g$、$g' \in RPE$ 和 $g' \neq \{g^{\emptyset}\}$。

因此，我们得出了矛盾，因为我们找到了一个非空的真子集，它是一个 RPE 网络。 □

由于引理 4 对于 $m > 2$ 不成立，因此可以推知命题 3 对于 $m > 2$ 也不成立，因为在第一种情况下，简单环并非 $m > 2$ 下的 RPE。据我们所知，在 $m > 2$ 下，LCC 网络并不存在简单的定义特征，因此我们必须使用定义 5 对其进行刻画，即最大 TC 子网络为空网络的 RPE 网络。鉴于 $m > 2$ 不存在简单的定义特征，具有有限理性的参与者很可能难以预测 $m > 2$ 下 LCC 网络中的均衡结果。因此，尽管理论结果仍然适用于 $m > 2$，但在假设 $m > 2$ 下的 LCC 网络能够让参与者通过计算轻松理解背叛的后果时，仍应保持谨慎。未来的研究可以尝试对 $m > 2$ 下的 LCC 网络开展实验，以检验这一假设。

附录B

本节展示了实验中向参与者提供的具体说明和任务的截图。在任务1中，我们通过独裁者博弈测量参与者的利他主义水平，之后提供网络博弈的说明。继续进行之前，参与者必须通过测验，以检验他们是否了解在给定网络博弈中，随机示例所涉及的决策将如何影响其报酬。这是为了确保参与者对博弈有基本的了解。

通过测验后，参与者将继续进行任务2、3、4和5中的网络博弈。任务2、4和5是参与者彼此对战的任务，而在任务3中，参与者则与计算机玩家对战。在论文中，我们将任务2称为阶段1，将任务3称为计算机任务，并将任务4和5称为阶段2。

在实验接近尾声时，我们分别在任务6和7中使用Holt和Laury（2002）的方法测量参与者进行逆向归纳的能力和风险厌恶程度[12]。最后，实验以一项调查结束。

[12]在任务 6 中，计算机和受试者轮流向筹码池中添加 1 或 2 个点，开始时筹码池为 0 点。计算机每回合随机添加点数，并先行一步。最先达到 21 点的一方获胜。倾向于逆向归纳的受试者会意识到，要确保获胜，计算机回合时筹码池的点数必须为 18、15、12、9、6 和 3。不幸的是，由于代码错误，除最终结果外，我们未能记录受试者的操作。虽然能否获胜可能取决于逆向归纳的能力，但运气也可能起到重要作用。为求稳妥，我们在分析中未考虑受试者在任务 6 中的表现。

General Information

Dear Participant, welcome to our experiment. **Please pay attention to the information provided here and make your decisions carefully. If at any time you have questions, please raise your hand and we will attend to you in private.**

Please note that unauthorized communication is prohibited. Failure to adhere to this rule would force us to stop the experiment and you may be held liable for the cost incurred in this experiment. You have the right to withdraw from the study at any point in time, and if you decide to do so your payments earned will be forfeited.

By participating in this study, you will be able to earn a considerable amount of money. The amount depends on the decisions you and other participants make.

At the end of this session, this money will be paid to you privately and in cash. It would be contained in an envelope (indicated with your unique user ID) together with a payment receipt acknowledging that you have been given the correct payment amount.

Each of you will be given **a unique user ID** and it **will be clearly stated on your computer screen**. At the end of the study, you will be asked to fill in your user ID and other information pertaining to your earnings from this study in the payment receipt. **Please fill in the correct user ID to make sure that you will get the correct amount of payment.**

Your **anonymity will be preserved** for the study. You will only be identified by your user ID in our data collection. All information collected will **strictly be kept confidential** for the sole purpose of this study.

The experiment consists of **three games**. You will be given the instructions and be informed of the rules later.

There will also be a separate show-up fee of **$1.00** on top of your total earnings from the experiment.

Task 1: Allocation Game

In this game, all participants will be assigned as a **proposer**.

As a proposer, you will need to propose a division of **100 points** between you and **an unnamed recipient**. You and the prospective recipient will receive your proposed division.

For example, suppose that you propose an offer of **x points** for you and **100-x points** for the recipient. Following the proposal, you will receive **x points**. **The recipient will be one of the unknown participants from your current experiment session.**

Meanwhile, you are also a **recipient** of another participant in the session. So you will receive the amount of points he/she proposed.

For example, if he/she proposes an offer of **y points** for himself/herself and **100-y points** for you, you will receive **100-y points** on top of the **x points** you received previously as a proposer. Therefore, your earning from this game will be **x+100-y points**

Note that your recipient and your proposer will never be the same participant. The identity of all participants remains anonymous throughout the experiment.

The game is one shot, and you will only be informed of the results when the whole experiment is completed.

Next

Task 1: Allocation Game

Out of 100 points, please decide how much you would like to keep to yourself:

Next

Task 1: Allocation Game

You will be informed of your payoff for this game when the whole experiment is completed.

We are going to enter Task 2. Please click the "next" button to proceed.

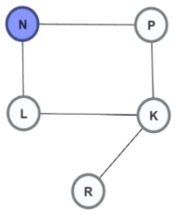
Next

Instructions (1 of 3)

The rules of the game are similar in Task 2-5. You will play the game a number of rounds in Task 2-5.

At the beginning of each round you are randomly assigned to a group of participants. Each participant is assigned to a different letter. As you can see below, each participant is connected to some other participants in the group by a link.

For example, if you are Participant N in this configuration,



you are linked to participants P and L.

Each participant takes turns to make a decision.

During your turn, you can make one of the following decisions:

- Delete one and only one of the links with one of the participants that is connected to you
- Do not delete any link

The sequence of turns is randomized. In other words, the timing of your turn relative to others is randomly decided. However, between your turn and your next turn, every other participant has a chance to make a choice.

You have 60 seconds to make your decision. If you do not make your decision and click "Next" within 60 seconds, the decision of "Do not delete any link" is implemented for you.

After your turn, the next participant gets to make the same decisions based on the new configuration.

The round ends when all participants consecutively decide not to delete any links, or if there are no links remaining in the configuration.

In each round, new groups are formed. Participants are randomly assigned to groups at each round, so you will be playing with different participants in the following round.

You may possibly face human players or computer players in some tasks; you will be told so if you are facing computer players.

Next

Task 2 Earnings

There are two ways to earn points in Task 2:

- For each link that you choose to delete, you win 110 points.
- When the round ends, for each link that is kept between you and other participants, you win 100 points.

At the end of the Experiment, one of the three rounds is selected at random to determine the points you win in Task 2. Note that you will only be told the round that has been randomly selected, and therefore your earnings in Task 2, at the end of the Experiment.

For example, suppose you win 100 points, 110 points and 200 points in Rounds 1, 2 and 3 respectively. Suppose the randomly-selected round is Round 2. You win a total of 110 points in Task 2.

The conversion rate from points to cash is:

1 point = 1 cent

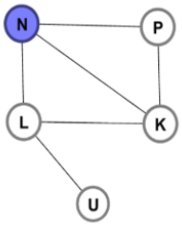
In this example, you earn SGD1.10 in Task 2.

Next

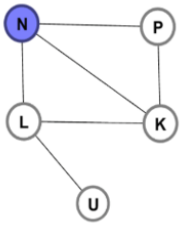
Task 2 Example

We will now go through an example of a round of Task 2.

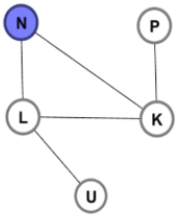
Suppose you are Participant N and you are placed in this configuration:



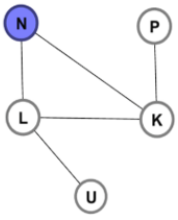
Suppose the round starts with Participant P's turn. As an example, Participant P decides not to delete any link. The configuration remains unchanged:



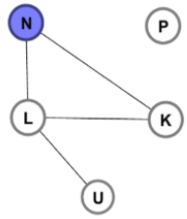
Suppose it is now your turn. As an example, suppose you decide to delete the link with Participant P. The configuration is now changed because you have deleted a link:



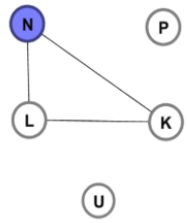
Suppose it is now Participant L's turn. As an example, Participant L decides not to delete any link. The configuration remains unchanged:



Suppose it is now Participant K's turn. As an example, Participant K decides to delete the link with Participant P. This gives us the following configuration:



Suppose it is now Participant U's turn. As an example, Participant U decides to delete the link with Participant L. This gives us the following configuration:



Suppose that from this turn onwards, everybody decides not to delete any link, and therefore the round ends.

These are the points you win in this round:

Participant N (You)

Points from	***Amount of Points***
Deleting links with others	110 points
Links kept at the end of the round	2 × 100 points = 200 points
Total Points	310 points

Notice that some of the participants can earn points solely by deleting links with others. An example is Participant U:

Participant U

Points from	***Amount of Points***
Deleting links with others	110 points
Links kept at the end of the round	0 points
Total Points	110 points

Notice also that some participants can earn points without deleting any link. An example is Participant L:

Participant L

Points from	***Amount of Points***
Deleting links with others	0 points
Links kept at the end of the round	2 × 100 points = 200 points

It is not possible for participants to lose points. However, a participant may win zero points in a round. An example is Participant P:

Participant P

Points from	*Amount of Points*
Deleting links with others	0 points
Links kept at the end of the round	0 points
Total Earnings	0 points

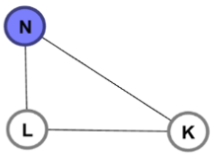
You will now take a quiz to ensure you understand the instructions.

Task 2 Quiz

Recall the following ways you can win points:

- For each link that you choose to delete, you win 110 points.
- When the round ends, for each link that is kept between you and other participants, you win 100 points.

Suppose you are Participant N and you are placed in this configuration:



Nobody deletes any links from this configuration, and hence the round ends.

How many points do you win in this round?

points

Suppose instead that you delete the link between yourself (N) and Participant K. Following your decision, Participant K deletes the link between Participant L and himself (K). Finally, Participant L deletes the link between himself and you (N).

As no links remain, the round ends.

How many points do you win in this round?

points

Next

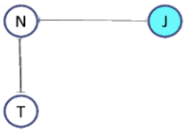
Start of Task 2

You have answered the Quiz correctly. Please wait for other participants to finish the Quiz.

Experiment Task 2

Time left to complete this page: **0:57**

You are Participant J.



Please make your decision:

- ○ Delete the link with Participant N
- ○ Do not delete any link

Next

Task 2 (End of Round)

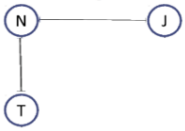
Time left to complete this page: **0:27**

Your Points

Your total points for this round is **100 points**.

Final Configuration

The final configuration is as such:



You have just completed the round. Please click Next when you are ready.

Next

Task 3 Instructions

Task 3 is similar to Task 2 with the exception that there is a Computer participant making decisions for each of the other positions in the configuration, instead of other human participants as it was in Task 2.

There is one Computer participant for each of the positions in the configuration other than the one you are assigned to, and all Computer participants make their decisions independently from each other.

Each Computer participant makes decisions based on the configuration when it is its turn. Specifically, each Computer participant picks the decision that maximizes the expected points it wins, assuming that all other participants also try to maximize their expected points.

Note that each Computer participant only uses the current configuration when it is its turn to decide whether or not to delete a link, and if so, which link to delete. The rule that the Computer uses to determine its choice does not vary over the course of the experiment.

As a summary, recall that when it is your turn you can choose to either delete one of the links that is connected to you, and immediately win 110 points, or you can choose not to delete any links.

After your turn, the next participant gets to make the same decisions based on the new configuration. Between your current turn and your next turn, all other participants will have taken a turn.

The round ends when nobody deletes any further links, or if there are no links remaining in the configuration. When the round ends, for every link that is kept between you and other participants, you win 100 points.

In this Task, there are eleven rounds and two of the rounds are randomly chosen to be counted for payment. Note that you will only be told the round that has been randomly selected, and therefore your earnings in Task 3, at the end of the Experiment.

The points you win in Task 3 are equal to the sum of the points you win in the two randomly chosen rounds. The conversion rate from points to cash is:

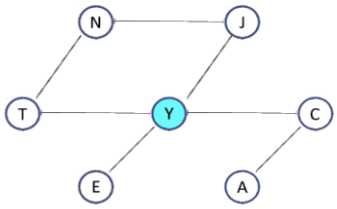
1 point = 1 cent

Please raise your hand if you have any questions.

Experiment

Time left to complete this page: **0:53**

You are Participant Y.



Please make your decision:

- ○ Delete the link with Participant J
- ○ Delete the link with Participant T
- ○ Delete the link with Participant E
- ○ Delete the link with Participant C
- ○ Do not delete any link

Next

End of Task 3

You have completed Task 3.

Please wait for all other participants before we move to Task 4.

Task 4 Instructions

Task 4 is exactly the same as Task 2, and you will be participating with other human participants rather than computer participants.

At the beginning of each round you are randomly assigned to a group of human participants and a configuration. Each participant is assigned to a different position in the configuration.

As a summary, recall that when it is your turn you can choose to either delete one of the links that is connected to you, and immediately win 110 points, or you can choose not to delete any links.

After your turn, the next participant gets to make the same decisions based on the new configuration. Between your current turn and your next turn, all other participants will have taken a turn.

The round ends when nobody deletes any further links, or if there are no links remaining in the configuration. When the round ends, for every link that is kept between you and other participants, you win 100 points.

In each round, new groups are formed. Participants are randomly assigned to groups at each round, so you will be playing with different participants in the following round.

The points you win in Task 4 are equal to the points you win in the randomly chosen round. The conversion rate from points to cash is:

1 point = 1 cent

Please raise your hand if you have any questions.

Next

Task 5 Instructions

Task 5 is similar to Task 2 and 4, and you will be participating with other human participants rather than computer participants.

However, you will be grouped according to your performance in Task 3. In other words, participants are ranked according to how much they earned in the task against computer participants. Participants with similar rankings are grouped together to take Task 5.

For example, if there are 12 participants in the current experiment session, and their earnings in Task 3 are ranked in descending order as follows (random ranking for a tie):

Player ID	P3	P9	P2	P4	P1	P10
Earnings	3500 points	3410 points	3350 points	2800 points	2700 points	2700 points

Player ID	P7	P12	P5	P8	P11	P6
Earnings	2690 points	2510 points	2500 points	2200 points	2100 points	1900 points

If participants are grouped in three, i.e., the configuration to be played has size of 3, then the grouping arrangement is as follows:

Player ID	P3	P9	P2	P4	P1	P10
Earnings	3500 points	3410 points	3350 points	2800 points	2700 points	2700 points
Group ID	Group 1			Group 2		

If participants are grouped in four, i.e., the configuration to be played has size of 4, then the grouping arrangement is as follows:

Player ID	P3	P9	P2	P4
Earnings	3500 points	3410 points	3350 points	2800 points
Group ID	Group 1			

Player ID	P1	P10	P7	P12
Earnings	2700 points	2700 points	2690 points	2510 points
Group ID	Group 2			

Player ID	P5	P8	P11	P6
Earnings	2500 points	2200 points	2100 points	1900 points
Group ID	Group 3			

There will only be one round for Task 5.

Please raise your hand if you have any questions.

Next

Task 6 Instructions

In this Task, you are paired with a Computer player.

The “counter” starts at 0.

You and the Computer player take turns.

The Computer player begins, and it can make one of two choices:

- Add 1 to the counter
- Add 2 to the counter

After the Computer player has made a choice, you observe its choice and can make one of two choices:

- Add 1 to the counter
- Add 2 to the counter

Suppose the Computer player chose to "Add 1 to the counter". The "counter" is thus equal to 1 at the start of your turn.

If you chose to "Add 1 to the counter", the counter will be equal to 2 at the end of your choice. If you chose to "Add 2 to the counter", the counter will be equal to 3 at the end of your choice.

After your choice, it is again the turn of the Computer player. The Computer player can, again, select either to add one or two to the counter. The Task continues with you and the Computer player taking turns, each one of you incrementing the counter by one or two.

The Task ends when the counter reaches 21, and the winner is the player who selects the last choice that makes the counter reach 21. The winner will earn 100 points in earnings for Task 6; the other player earns nothing for Task 6.

At every turn, the Computer player makes a random choice between adding 1 or 2 to the counter, so there is a probability equal to 50% that the Computer player adds 1 and a probability equal to 50% that the Computer player adds 2 to the counter.

For your convenience, these instructions are available on all subsequent screens of this Task.

Your Turn

This is the start of the game. The Computer player has chosen 2.

Counter: 2.

You are **Player 2**.

Please make a choice:

--------- ▲▼

Next

Task 6 Instructions

In this Task, you are paired with a Computer player.

The "counter" starts at 0.

You and the Computer player take turns.

The Computer player begins, and it can make one of two choices:

- Add 1 to the counter
- Add 2 to the counter

After the Computer player has made a choice, you observe its choice and can make one of two choices:

- Add 1 to the counter
- Add 2 to the counter

Suppose the Computer player chose to "Add 1 to the counter". The "counter" is thus equal to 1 at the start of your turn.

Results

Congratulations! You got to 21 and you won the game! You have earned 100 points for Task 6.

Next

Results

Unfortunately, the Computer player got to 21 and you lost the game. You do not have any earnings for Task 6.

Next

Task 7

Task 6 has ended. We are now entering Task 7.

In this part of the experiment you will be asked to make a series of choices.

How much you receive will depend partly on **chance** and partly on the **choices** you make.

The decision problems are not designed to test you. What we want to know is what choices you would make in them. The only right answer is what you really would choose.

For each line in the following table, please state whether you prefer **Option L** or **Option R**. Only one turning point is allowed to be made.

Notice that there are a total of **ten lines** in the table but only **one line** will be randomly selected for payment.

You do not know which line will be paid when you make your choices. Hence you should pay attention to the choice you make in every line.

After you have completed all your choices, the computer will randomly generate a number, which determines which line is going to be paid.

Your earnings for the selected line depend on which option you chose: If you chose Option L in that line, you will receive **100 points**. If you chose Option R in that line, you will receive either **300 points** or **0 points**.

To determine your earnings in the case you chose Option R, there will be a second random draw. The computer will randomly determine if your payoff is **300 points** or **0 points**, with the chances stated in Option R.

Note: 1 point = 1 cent

Game III

In this part of the experiment you will be asked to make a series of choices.

How much you receive will depend partly on **chance** and partly on the **choices** you make.

The decision problems are not designed to test you. What we want to know is what choices you would make in them. The only right answer is what you really would choose.

For each line in the following table, please state whether you prefer **Option L** or **Option R**. Only one turning point is allowed to be made.

Notice that there are a total of **ten lines** in the table but only **one line** will be randomly selected for payment.

You do not know which line will be paid when you make your choices. Hence you should pay attention to the choice you make in every line.

After you have completed all your choices, the computer will randomly generate a number, which determines which line is going to be paid.

Your earnings for the selected line depend on which option you chose: If you chose Option L in that line, you will receive **100 points**. If you chose Option R in that line, you will receive either **300 points** or **0 points**.

To determine your earnings in the case you chose Option R, there will be a second random draw. The computer will randomly determine if your payoff is **300 points** or **0 points**, with the chances stated in Option R.

Note: 1 point = 1 cent.

Option Number	Option L	Option R
1	○ 100 points	○ 300 points with 0% chance, 0 point with 100% chance.
2	○ 100 points	○ 300 points with 10% chance, 0 point with 90% chance.
3	○ 100 points	○ 300 points with 20% chance, 0 point with 80% chance.
4	○ 100 points	○ 300 points with 30% chance, 0 point with 70% chance.
5	○ 100 points	○ 300 points with 40% chance, 0 point with 60% chance.
6	○ 100 points	○ 300 points with 50% chance, 0 point with 50% chance.
7	○ 100 points	○ 300 points with 60% chance, 0 point with 40% chance.
8	○ 100 points	○ 300 points with 70% chance, 0 point with 30% chance.
9	○ 100 points	○ 300 points with 80% chance, 0 point with 20% chance.
10	○ 100 points	○ 300 points with 90% chance, 0 point with 10% chance.

Next

Results

The randomly selected line for your payment is **line 3**.

For this line, the options available are:

- **Option L**: You get a reward of 100 points with certainty.
- **Option R**: You get a reword of 300 points with a 20% chance and a reward of 0 points with a 80% chance.

For this line, you selected **Option R**. Your payoff is now determined according to Option R.

Therefore, based on your choice and the computer's randomisation, you receive **0 points** for this game.

Next

Questionnaire

We have reached the end of the experiment.

The last part of the experiment is a questionnaire. The payment information will be shown on the screen after you finish the questionnaire.

Please fill in the payment receipt and remain seated after finishing the questionnaire. We will prepare for your payment.

Final Questionnaire

Please answer the following questions.

What is your country of citizenship?

What is your age?

What is your gender?

- ◯ Male
- ◯ Female

What is your major?

What is your level of understanding of Game Theory?

- ◯ None at all
- ◯ Basic; self-taught
- ◯ Intermediate; 1 year of undergraduate studies
- ◯ Advanced; 2 years or more of undergraduate studies
- ◯ Expert; Post-graduate level

What strategy, if any, did you employ while participating in the Experiment?

Payment Information

Thank you! We are at the end of this study.

On this page, we will list how much you receive as compensation for your time.

Please remain seated and wait for the instructions for payment.

Subject ID:	60618
Show up fee:	$1.00
Earnings from Task 1:	100 points
Earnings from Task 2:	400 points
Earnings from Task 3:	600 points
Selected Rounds in Task 3:	Round 8 and 6
Earnings from Task 4:	400 points
Earnings from Task 5:	200 points
Earnings from Task 6:	100 points
Earnings from Task 7:	0 points
Earnings from all tasks (after rounding):	$18.00
Your total earnings:	**$19.00**