

NIPD게임에서 협동연합의 발현에 관한 진화적 연구

서 연규, 조 성배
연세대학교 컴퓨터과학과

Evolutionary Study on Emergence of Cooperative Coalition in NIPD Game

Yeon-Gyu Seo and Sung-Bae Cho
Department of Computer Science, Yonsei University

요 약

반복적 죄수의 딜레마(Iterated Prisoner's Dilemma, IPD)게임은 사회적, 경제적, 그리고 생물학적 시스템에서 협동의 진화를 연구하기 위한 대상으로 사용되어져 왔다. 이제까지 이기적이며 합리적인 개체들 사이에서의 협동의 진화에 대한 완전한 이해를 위하여 게임자의 수와 협동의 관계, 기체학습의 일환으로서의 전략학습 그리고 이득함수가 협동에 미치는 영향 등에 관한 많은 연구가 이루어져 왔다. 이 논문에서는 실험을 통해 이득함수에 따른 협동연합의 크기와 지역화가 NIPD(N-player IPD)게임에서 협동의 진화에 미치는 영향에 대해 밝히고자 한다. 시뮬레이션 결과 이득함수와 협동연합의 크기에 대한 실험에서는 협동개체에 대한 이득함수의 기울기가 배반개체에 대한 이득함수의 기울기보다 급하거나 최소 연합의 크기가 작을수록 협동연합의 정도가 높게 나타남을 알 수 있었다. 그리고 지역화 실험에서는 상호작용하는 이웃의 크기가 작을수록 협동연합의 크기가 크게 진화됨을 알 수 있었다.

1. 서 론

IPD게임은 협동의 진화를 연구하기 위해 지난 수 십년 동안 연구되어 왔다. IPD게임에서 게임자는 배반과 협동의 두 가지 선택 중 하나를 선택하여서 히를 선택해야한다. 표1은 2IPD에서 모든 가능한 선택 조합에 대한 이득표를 보여주고 있다. 게임은 무한히 반복되며 언제 끝날지 모른다. 표1에 의하면 게임자는 상대방이 무엇을 선택하는가에 관계없이 배반함으로써 더 나은 이득을 얻을 수 있으므로 배반이 최선의 선택일 것이다. 그러나 같은 생각으로 다른 게임자도 배반을 선택하게 되고 결국 모두 배반을 하여 이득 P를 얻게 되는데 이것은 두 상대방이 모두 협동하면 얻을 수 있는 이득 R에 비해 적다. 이것이 게임자가 적면하게 되는 딜레마로 볼 수 있다.

이와 관련된 많은 연구들은 2IPD에 집중되어 있지만 이로써는 사회, 경제 현상과 같은 복잡한 문제를 모델링할 수 없다. 보다 실생활과 가까운 문제를 다룰 수 있는 게임이 NIPD게임인데 표2는 여기에 시의 이득표를 보여준다. 2IPD의 속성이 NIPD에서도 만족되므로 배반이 각 상대방에 대해 우세한 전략으로 볼 수 있다.

	협동	배반
협동	R	S
배반	T	P

표1 2IPD에서 이득표
 $T > R > P > S, 2R > T + P$

	협동 수	0	1	...	$N-1$
선택	협동	C_0	C_1		C_{N-1}
	배반	D_0	D_1		D_{N-1}

표2. NIPD에서 이득표
 $C_i > C_{i-1}, 2C_i > D_i + C_{i-1}, C_N > D_0$

NIPD에서 고려할 수 있는 이득함수, 애러, 집단의 구조, 지역화, 게임자의 수, 상호작용확률 등[1][2][3][6]의 여러 요인 중에서 본 논문에서는 이득함수와 지역화를 고려하여 실험한다. IPD게임에서 일반적으로 이득함수는 고정되어 있으나 실제계에서는 여러 이득함수들이 존재하고 있으므로 여러 이득함수의 실험을 통해 이득함수가 협동연합에 미치는 영향에 대해 조사하고 실험을 통해 지역화가 협동연합의 생성에 미치는 영향에 대해 알아본다. 지역화 실험에서는 학습의 지역화와 상호작용의 지역화 등이 협동의 발현에 영향을 미치는 중요한 요인으로 보고된 바 있다[3][4]. 그리고 게임자의 수도 중요한 요인으로서 고려한다.

본 논문에서는 동적인 환경을 반영할 수 있는 공진화(Co-evolution) 전략학습을 사용하며 하나의 유전자형은 게임자들의 이진 행동에 따라 다음행동을 결정할 수 있는 모든 정보를 가지고 있다.

2절에서는 협동과 이득함수의 관계에 대해 언급하고 3절에서는 지

역화에 대해 논의한다 그리고 4절에서는 NIPD게임에서 지역화와 이득함수에 대한 반복 시뮬레이션 결과를 제시하고 마지막으로 결론을 맺는다

2. 이득 함수

경제 및 사회현상에 있어서 두드러진 특징은 자신에게 돌아오는 이득에 따라 개체들의 행동양상이 달라지게 된다는 점이다. 이득은 이기적이면서도 합리적인 개체들에게 행동의 중요한 요인으로서 작용하고 있다

일반적으로 NIPD게임에서 이득함수는 다음의 조건을 만족한다.

$$C_i > C_{i-1}, D_i > C_n, C_n > D_0$$

게임에서 이득함수의 중요한 파라미터는 협동에 대한 이득함수의 x 절편과 기울기이다. 협동의 이득함수에 대한 x 절편은 최소 연합의 크기를 결정짓는 아주 중요한 요인이라고 할 수 있다. Schelling에 의하면 최소 연합의 크기는 게임자가 0이상의 이득을 얻을 수 있는 게임자의 수를 말한다[5]

IPD게임에서 이득함수는 일차함수로 고정되어 있다. 그림1은 본 논문에서 실험하는 이득함수를 보여주고 있는데 실선은 배반의 이득함수이고 점선은 협동의 이득함수를 나타낸다. 이 그림을 보면 몇몇 이득함수들은 IPD의 이득규칙에 위배됨을 알 수 있는데 사회나 경제에서는 고정적인 이득이란 존재하지 않으므로 여러 이득함수를 고려하여 실험하는 것이 보다 더 실제적인 결과를 제시할 수 있기 때문이다 이 실험을 통해 이득함수가 협동연합의 발전에 미치는 영향에 대해 조사하고자 한다

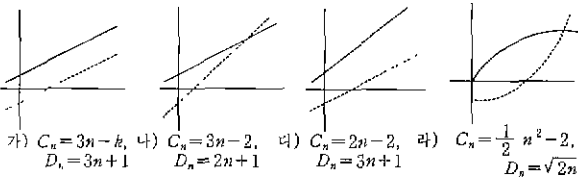


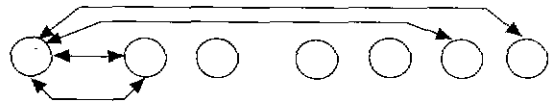
그림 1. 이득함수

그림1에서 가)는 k 의 값을 변화시키면서 실험하고, 나)의 경우 협동자의 수가 증가하면 협동의 이득이 배반의 이득을 초과하게 된다. 다)에서는 배반의 이득함수 기울기가 협동의 이득함수 기울기보다 급하여 대부분 협동할 것으로 기대할 수 있으며 라)에서는 이득함수로서 2차함수를 사용한다.

3. 지역화

지역화란 학습이나 상호작용을 각 개체들에 인접한 이웃에게만 국한시키는 것으로 Nowak과 May[4]는 원형 집단의 구조를 사용하여 지역화 실험을 하였으며 Hoffmann과 Warning[3]은 지역화된 학습과 지역적인 상호작용이 협동에 미치는 영향에 대해 연구한바 있다.

상호작용의 지역화란 상호작용의 대상을 인접한 이웃으로 국한시키는 것이며 학습의 지역화란 개체들의 학습이 인접 이웃개체들로부터 이루어지는 것을 말한다. 지역화 실험에서는 원형집단의 구조를 사용하여 실험하는데 이는 가장자리에 위치한 개체들이 인접 이웃이 작아지는 것을 막기 위함이다 그림 2는 이러한 지역화에서 학습과 상호작용의 이웃에 대해 보여주고 있다.



[그림 2] 학습과 상호작용의 지역화

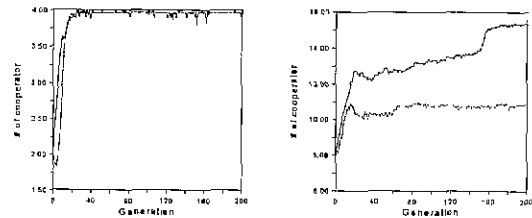
4. 실험

지역화와 이득함수의 실험을 위해 집단의 크기를 100으로 하고 교차율은 0.6, 돌연변이율은 0.001로 하였다 그리고 2점 교차방법을 사용하고 엘리트 보존전략을 병행한 순위선택 방법을 사용하였다.

4.1 이득함수의 실험

가) 이득함수: $C_n = 3n - k, D_n = 3n + 1$ 인 경우

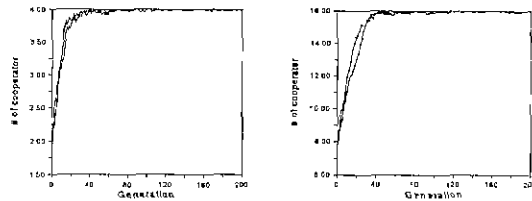
k 의 값을 변경시키면서 실험하는데 여기에서 k 는 이득의 생성시기를 결정한다. 그림3에서 실선은 k 가 2일 때, 점선은 3일때의 결과를 보여주고 있다 그림에서 볼 수 있듯이 k 의 값이 작을수록 협동 연합의 크기가 크다는 것을 알 수 있으며, 게임자가 많아질수록 협동이 잘 일어나지 않음을 볼 수 있다.



가) 게임자의 수가 4일때 나) 게임자의 수가 16일때
그림 3. $C_n = 3n - k, D_n = 3n + 1$

나) 이득함수 : $C_n = 3n - 2, D_n = 2n + 1$ 인 경우

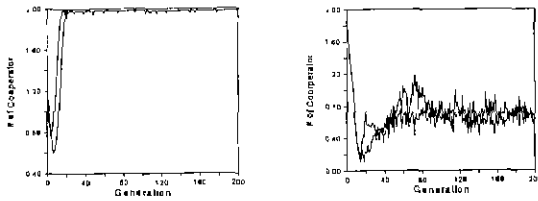
이 경우에는 n 이 3이상일 경우 협동의 이득이 배반의 이득을 초과하게 된다. 그림4에서 볼 수 있듯이 게임자의 수에 관계없이 협동으로 진화하여 협동 연합의 크기가 최대가 됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 이득함수의 기울기가 중요한 요소임을 말해주고 있는 것이다.



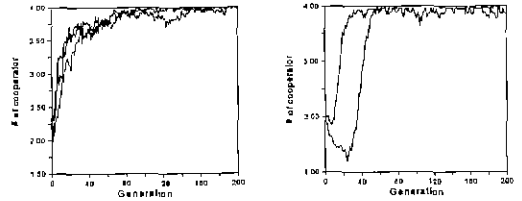
가) 게임자의 수가 4일때 나) 게임자의 수가 16일때
그림 4. $C_n = 3n - 2, D_n = 2n + 1$

다) 이득함수 : $C_n = 2n - 2, D_n = 3n + 1$ 인 경우

배반의 이득함수 기울기가 협동의 이득함수의 기울기보다 급하여 대부분이 배반으로 진화한다. 그러나 그림 5에서처럼 게임자의 수가 적을 경우에는 협동으로 진화함을 볼 수 있다.



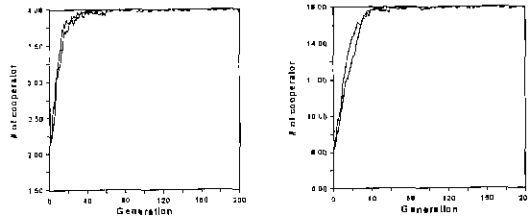
가) 게임자의 수가 2일때 나) 게임자의 수가 4일때
그림 5. $C_n = 2n - 2, D_n = 3n + 1$



가) 게임자의 수 4, 인접 이웃의 크기가 2일때 나) 게임자의 수 4, 인접 이웃의 크기가 8일때
그림 7. 상호작용의 지역화

라) 이득함수 : $C_n = \frac{1}{2}n^2 - 2, D_n = \sqrt{2n}$ 인 경우

이 경우 협동자의 수가 2보다 클 경우 협동의 이득이 배반의 이득을 초과하게되므로 협동자의 수가 2보다 클 확률이 높을수록 협동으로 진화할 확률 또한 높아지게 된다 즉 게임자의 수가 많을수록 협동 연합의 생성은 쉽게 이루어진다. 그림6은 이러한 결과를 보여준다.



가) 게임자의 수가 4일때 나) 게임자의 수가 16일때
그림 6. $C_n = \frac{1}{2}n^2 - 2, D_n = \sqrt{2n}$

4.2 지역화에 대한 실험

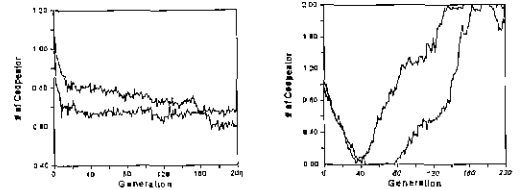
지역화의 실험은 학습의 지역화와 상호작용의 지역화의 영향관계가 동일하지 않음으로 따로 분리하여 실험하였다 Moore machine을 이용한 Hoffmann과 Warning[3]은 학습과 상호작용의 이웃 크기가 작을수록 협동이 잘 나타남을 보였다 본 실험에서는 유전자 알고리즘을 이용하며 공진화 방법을 사용하였다.

가) 상호작용의 지역화

그림7과 같이 상호작용하는 이웃의 크기가 작을수록 협동연합의 크기가 커진다 이로부터 지역화의 정도가 높을수록 협동연합의 정도가 높게 나타나지만 안정되는데 소요되는 시간이 길어진다는 것을 알 수 있다.

나) 학습의 지역화

상호작용의 지역화와 함께 학습의 지역화도 협동에 영향을 미치는 중요한 요인인데, 학습의 지역화가 클수록 협동이 잘 나타난다고 밝혀졌다[3]. 그러나 본 실험에서는 그림8에서 볼 수 있듯이 학습의 지역화는 협동진화에 역효과를 보이고 있다 학습의 이웃이 작을수록 협동이 잘 일어나지 않음을 볼 수 있다



가) 게임자의 수 2, 인접 이웃의 크기 2일때 나) 게임자의 수 2, 인접 이웃의 크기 50일때
그림 8. 학습의 지역화

5. 결론

본 논문에서는 이득함수와 지역화의 실험을 통해 협동연합의 발전에 대해 보고하였다. 일반적인 IPD게임에서는 고정적인 이득규칙을 사용하고 있지만 실제 생활에서는 이득함수에 대한 여러 가지 기준이 존재하고 있으므로 이를 고려하기 위하여 여러 가지 이득함수를 고려하였다.

여러 차례의 시뮬레이션 결과를 통해 이득함수가 중요한 요인이며 특히, 협동에 대한 이득함수의 기울기와 이득함수에 의해 결정되는 최소연합의 크기가 중요한 요인임을 알 수 있었다.

지역화 실험의 결과에서 상호작용하는 이웃의 크기가 작을수록 협동연합이 잘 생성되는 반면, 학습 이웃의 크기는 작을수록 오히려 협동연합의 생성에 방해요인으로 작용하고 있음을 알 수 있었다. 또한 두 실험을 통해 게임자의 수도 협동의 진화에 영향을 주는 중요한 요인임을 다시 한번 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] Axelrod, R and Dion, D., "The Further Evolution of Cooperation," *Science*, 242 1385-1389, 1998
- [2] Banks, S., "Exploring the Foundation of Artificial Societies: Experiments in Evolving Solutions to Iterated N-Player Prisoner's Dilemma," *ALife IV*, pp. 337-342, 1994.
- [3] Hoffmann, R. and Warning, N., "The Localization of Interaction and Learning in the Repeated Prisoner's Dilemma," *SFI Workshop on Computational Economics*, 1996.
- [4] Nowak, M. A and May, R. M., "Evolutionary Games and Spatial Chaos," *Nature*, 359, 1992
- [5] Schelling, T. C., *Micro motives and Macrobehaviour* W.W.Norton and Co. New York, 1978.
- [6] Yao, X. and Darwen, P., "The Experimental Study of N-player Iterated Prisoner's Dilemma," *Informatica*, 18-435-450, 1994