

컴퓨터 바둑에서 돌의 세기와 영향력 분포에 기반한 형세 평가 시스템

(A Situation Evaluation System based on the Strength and the Influence Distribution of Stones in Computer Go)

김 영 상*
(Young-Sang Kim)

요 약

컴퓨터 바둑에 있어서 형세 평가는 일반화되어 있지 않다. 정확한 평가를 위해서 국면의 변화에 따른 361 자리의 소유 여부를 분명히 할 필요가 있다. 본 논문에서는 바둑의 규칙과 특성을 분석하는 방법으로 그래프 표현을 적용하였으며, 돌의 세기, 영향력, 안정도, 자리값, PM 등의 요소를 정의하여 임의의 국면에 대한 형세를 평가하는 시스템(SES)을 제안하였다. 이는 흑, 백간의 영역 차이를 명백하게 표현하므로 바둑의 전반적인 형세를 평가하는데 매우 효과적이다.

결론적으로 SES는 초반의 형세 평가에 매우 우수하며, 프로기사에 대한 254개의 실전 기보에 대해서 70.9%의 적중률을 보였다. 정석 사례를 구축하여 사용하는 상용 프로그램, Nemesis와 비교 실험한 결과에 의하면, 프로기사에 대한 형세 평가 적중률에 있어서 SES는 Nemesis보다 전체적으로 10% 앞서는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

In computer Go, the method evaluating the situation of a face is not generalized. To evaluate the situations all the faces accurately, computer Go must judge owners of 361 positions according the changes of the faces.

In this paper, we apply the structure of graph as a method analyzing the rules and characters of Go. The *Situation Evaluation System*(SES) which can evaluate the situation of a face without DB information only using strength of stone(SS), influence power(IP), safety(S), position value(PV), and position-value matrix(PM) is proposed. This system is very effective to evaluate the whole situations of Go because it can show the owner of 361 positions between Black and White.

As a result, SES can well compute the situations in the opening game of Go. It makes 70.9% hit-ratio as compared with the practical Go games of professional players. According to the results compared with Nemesis, the commercial program which has the joseki(established stones: known sequences of moves near the corner which result in near-equal positions for White and Black), SES is superior to Nemesis by 10% higher in the hit-ratio of situation evaluations of professional players.

* 정회원 : 제주한라대학 컴퓨터정보계열 전임강사

논문접수 : 2001. 12. 4.

심사완료 : 2002. 2. 23.

1. 서론

게임은 컴퓨터의 지적 능력을 적용하기에 매우 적합한 분야이다. 바둑은 흑과 백이 바둑판에 차례로 한 수씩 번갈아 착수하면서 자신의 영역을 구축해 나가는데 최종적으로 영역이 넓은 경기가 이기는 게임이다.

컴퓨터 바둑에 있어서 흑과 백의 영역을 잘 표현할 수 있는 것은 형세 평가이다. 게임 트리 탐색을 이용하는 사활 문제와는 달리 형세 평가를 위한 일반적인 접근은 거의 없다. 개발중이거나 상용화된 컴퓨터 바둑 프로그램은 공통적으로 정석과 같은 지역적인 전술을 잘 구현하고 있는 반면, 국면의 형세를 평가하는 방법과 응용에 대해서는 일반화되어 있지 않다.

사활 문제에 접근하기 위한 게임 트리 탐색 기법에는 SSS*, CN-search, PN-search과 같은 너비 우선 탐색 기법이 있고, 알파-베타 절단을 바탕으로 개선된 깊이 우선 탐색 기법들이 있다[1-3]. SSS*는 트리의 깊이에 대해 검색된 내용을 메모리 공간에 저장하고, 이를 이용하여 절단 노드의 검색 횟수를 줄일 수 있다. CN-search는 루트 노드의 값을 변화시키기 위해서 필요한 노드의 최소 수를 평가하며, PN-search는 AND/OR 트리를 사용하여 루트 노드의 값을 증명할 수 있는 노드 수를 평가한다[4].

바둑에서 형세 평가의 필요성은 명료하다. 바둑의 어떤 한 국면에서 흑, 백이 소유하는 집의 수 또는 영역의 범위를 결정하는 것이다. 바둑의 승부는 결국 국 집의 개수로 결정되기 때문이다. 미완성된 영역의 가치와 세력의 영향력을 계산하여 누가 우세한가를 판단하는 형세 평가에는 미래의 수 읽기는 물론 국면에 대한 전체적 안목과 계산 능력 등 종합적인 지식 프레임이 요구된다.

Müller에 의하면, 형세 평가는 승패가 확정되지 않은 상태에서 흑과 백의 세력을 계산하여 현 국면의 우열을 평가하는 것을 목적으로 한다[5]. Ken Chen은 Go Intellect에서 형세 평가 함수를 개발하여 컴퓨터가 스스로 현재의 국면을 평가하도록 구현하였다[6].

본 논문에서는 컴퓨터 바둑의 형세 평가에 대해서 조합 게임론을 적용하여 분리 수행하고, 그 결과를 다른 국부적인 게임들과 결합하여 후보 수를 결

정하는 알고리즘[7]의 기반이 될 수 있음을 제안한다. 본 논문의 구성을 보면, 제2장에서는 형세 평가에 관한 연구 동향을 분석하였고, 제3장에서는 조합 게임론에 대해서 형세 평가에 적용 가능한 내용을 기술하였으며, 제4장에서는 돌의 세기와 영향력을 이용하여 형세 평가를 수행할 수 있음을 제시하고, 제5장에서 형세 평가 시스템(Situation Evaluation System : SES)에 대한 실험 결과를 보였으며 제6장에서 결론 및 향후 연구 방향을 논의한다.

2. 관련 연구

컴퓨터 바둑에 추론 행위를 적용하는 알고리즘의 구현에 있어서 전체 조건은 상대방의 수를 자신의 입장에서 읽어낼 수 있어야 한다는 사실이다.

바둑의 한 국면에서 고려해야 할 변화는 천문학적 숫자이다. 바둑을 컴퓨터로 구현하기 위해서 연구되어 온 이론으로는 고전적(classical) 게임 이론, 게임 한정(game specific) 이론, 휴리스틱스(heuristics), 조합 게임 이론(combinatorial game theory: CGT) 등이 있다.

고전적 게임 이론은 본 노이만에 의해서 처음 제창되었으며, 두 사람이 완전한 정보를 가지고 단말 노드에 이르기까지의 트리를 탐색하는 최소/최대(min/max) 또는 알파-베타 절단(alpha-beta cutoff)과 같은 기법들을 말한다. 고전적 게임 이론이 탐색 방법에 관한 것이라면, 게임 한정 이론의 주목적은 탐색 공간을 줄이는 데 있다. 즉, 게임 트리에서 비(非) 단말 노드의 평가에 의해서 탐색의 깊이가 얼마든지 줄어들 수 있다. 컴퓨터 바둑에서 잘 알려진 *semeai formula*나 [8, 9]의 무조건적 삶을 찾아내는 알고리즘이 이에 속한다.

바둑의 정석과 같이 잘 알려진 형태 등과 같은 패턴을 경험적으로 이용하는 방법을 휴리스틱스라고 부른다. 대부분의 컴퓨터 바둑 프로그램은 초반 또는 끝내기 에 대한 수를 생성하기 위해서 패턴 인식과 같은 함수를 설계하여 사용한다.

CGT는 하나의 게임을 지역적인 여러 개의 부분 게임으로 분해(decomposition)하여 이용할 수 있다는 점에서 *Quiescence search*와 같은 휴리스틱스 방법이나 알파-베타 절단과 같은 고전적 게임 이론보다

바둑의 행위를 표현하기에 가장 적합하다.

Müller는 CGT를 이용하여 바둑의 정석, 포석, 형세 평가, 사활 그리고 끝내기과 같은 국부적 게임으로 분리해서 처리하고 처리된 결과를 밀접하게 결합할 수 있음을 제시한다. CGT는 주어진 두 개 이상의 독립적 게임의 합을 산출하기 위해서 가능하면 분석의 범위를 단일 게임으로 제한한다[4,10,11].

3. 조합 게임론

Conway와 Berlekamp[12]에 의하면 바둑 게임은 흑이라 부르는 *Left*와 백이라 부르는 *Right*의 두 사람에게 의해 두어지므로 $\{G^L | G^R\}$ 과 같이 정의된다.

$\{G^L | G^R\}$ 은 흑, 백의 선택에 의해서 조합적으로 착수할 수 있는 자리를 의미한다. 그러므로 바둑은 $G = \{L_1, \dots, L_n | R_1, \dots, R_m\}$ 과 같이 표현되고, 귀납적으로 L_i 와 L_j 가 또다른 게임으로 정의될 수 있다.

따라서, G^L 과 G^R 은 이러한 흑과 백의 선택에 의한 게임들의 집합이다. 역(逆) 게임은 둘의 색을 바꿈으로써 가능한 경우이므로 $-G = \{-G^L | -G^R\}$ 으로 정의한다.

숫자를 사용하여 게임 G 의 상태를 표현할 수 있다. 즉, 숫자 n 은 *Left*에 대해서 n 번 착수할 수 있는 반면, *Right*는 착수가 전혀 없는 게임이다. 예를 들면, $0 = \{\} , 1 = \{0 | \} , n+1 = \{n | \}$ 과 같다.

음수의 표시는 양수에 대한 역으로 $-2 = -(2) = -\{1 | \} = \{\{-1\} | \dots\} = \{\{-1\} | \{0\}\}$ 과 같이 나타낼 수 있다. 간혹, $\frac{1}{2} = \{0 | 1\} , \frac{1}{4} = \{0 | \frac{1}{2}\}$ 과 같이 분수로 게임 G 를 나타내기도 한다.

따라서, 게임 G 와 H 의 합, $G+H = \{G+H^L, G^L+H | G+H^R, G^R+H\}$ 로 정의된다. $G+H$ 에서 수는 G 또는 H 중에서 착점한 수를 말한다.

앞에서 살펴 본 바와 같이 바둑 게임, 역 게임, 게임의 합 등은 수학적 구조를 가지는데, 게임의 합 $G=A+B+C+\dots$ 에서 단일 게임 A, B, C, \dots 등은 각각 G 의 부분 게임이라고 말할 수 있다. 반복이 많이 일어나는 바둑 게임의 경우는 $G=\{G | G\}$ 와 같이 순환적으로 그들의 항으로 정의한다.

바둑에서는 패처럼 동형 반복이 발생할 수 있으므로 여기에서 기술하는 모든 게임은 동형 반복이 없는 게임에 적용하는 것을 원칙으로 한다. 게임의

표기에 있어서 중괄호가 생략되면 곱선으로 연산순서를 지정할 수 있다. 즉, $\{3 | \{2 | 1\}\} = 3 | \{2 | 1\} = 3 \parallel 2 | 1$ 이 성립된다.

바둑에서 부분 순서는 다음과 같이 정의된다. $G \geq H$ 라 함은 어떤 환경 아래서도 *Left*가 적어도 H 에서 가능한 만큼 G 에서도 가능하다는 것이다. 즉, 어떤 합 $G+Rest$ 가 $H+Rest$ 만큼 *Left*에 유효하다면 $G \geq H$ 가 성립된다. 부분적 순서는 지배당한 선택들을 가지치기하는데 이용된다.

동형 반복이 없는 게임에서는 부분적 순서로 규범이 되는 형식을 정립할 수 있다. 첫 번째, 만약 $G = \{A, B, C \dots | \dots\}$ 이고, $A \geq B$ 이면 A 는 B 를 지배하므로 B 가 생략될 수 있고 $G = \{A, C \dots | \dots\}$ 가 된다. 두 번째, $G = \{A, B, C \dots | \dots\}$ 이고, $A^R \leq G$ 이라면 A 에 대한 *Left*의 수는 A^R 로 역전된다. 즉, $A^R = \{A_1, A_2, A_3 \dots | \dots\}$ 이면 $G = \{A_1, A_2, A_3, \dots, B, C \dots | \dots\}$ 이다. 이것을 가역성(*reversible*)인 수가 역전되었다고 말한다. 이러한 규칙은 *Right*의 놓는 수에도 그대로 적용된다.

*Leftscore*와 *Rightscore*는 흑 또는 백이 먼저 번갈아 둘 때 먼저 두게 되는 게임의 최소/최대 가치를 말한다. *Incentive*는 착수에 의하여 진보된 게임과 게임에서의 선택 사이의 차이점을 나타낸다. *Left-incentive* = $G^L - G$ 이고, *Right-incentive* = $G - G^R$ 이다. *Incentive*는 게임 합에서 최적의 수를 찾는 데 이용한다.

*Mean*은 여러 게임의 선형적 평균 가치를 의미한다. 즉, $mean(A+B) = mean(A) + mean(B)$ 와 같다. *Cooling*은 게임을 단순화하는 기법으로 사용된다.

그러므로 게임 G 에 의해서 t 만큼 *cooled*할 수 있는데 이를 $G_t = \{G_t^L - t | G_t^R + t\}$ 로 표현할 수 있다. *temperature*는 *Leftscore*와 *Rightscore*가 같을 때 가장 작은 *cooling*을 계산하는데 사용한다. $0 | 0$ 으로 표현되는 게임은 조합 게임론으로는 *로 나타낼 수 있으며, 이 게임의 *mean*과 *temperature*는 0임을 뜻한다.

결과적으로 조합 게임론에 의하면, 바둑 게임 G 의 유형은 다음과 같은 네 가지 경우로 분류할 수 있다.

{	$G > 0$	양의(<i>positive</i>) 게임 : 누가 먼저 두던간에 흑 승리
	$G < 0$	음의(<i>negative</i>) 게임 : 누가 먼저 두던간에 백 승리
	$G = 0$	빈(<i>null</i>) 게임 : 나중에 둔 사람 승리
	$G \neq 0$	모호(<i>fuzzy</i>) 게임 : 먼저 둔 사람 승리

본 논문에서는 이를 응용하여 임의의 국면에서 361자리의 모든 자리값을 더했을 때 국면 G의 형세를 다음과 같이 구분한다.

{	$G > 180.5$	흑의 게임: 흑 우세
	$G < 180.5$	백의 게임: 백 우세
	$G = 180.5$	빅(<i>seki</i>) 게임: 무승부 또는 승부의 기준점

4. 돌의 세기와 자리의 영향력

바둑의 국면에 대한 모든 인식은 궁극적으로 형세 평가를 위한 것이다. 승리를 최종 목표로 하는 바둑에서 현 국면의 형세가 어떠한가를 검토하는 일은 이기기 위한 필수과정이다. 임의의 국면에서 형세 평가를 내릴 수 있는 근거는 모양과 영역이다. 즉, 쌍방간에 확보된 영토를 계산하여 유·불리를 판단하는 것이다. 물론 게임이 종료되지 않은 시점에서 완전한 눈을 제외하고는 모두 가변적으로 모든 영역을 정확히 계산할 수는 없다. 따라서, 계가적 형세 평가는 추론적 계산에 의거한다.

형세 평가의 과정은 적과 나를 비교하는 것이다. 집이 아무리 많다고 해도 상대의 집보다 단 1이라도 적으면 결국 패배이다. 여기서, 361개라는 절대 불변의 공간을 대상으로 하는 국면은 분명히 흑, 백간의 분할 원리가 지배한다.

【정의 4.1】 바둑에서 한 경기자가 돌을 놓았을 때, 돌이 놓인 자리에는 힘이 존재한다. 이를 돌의 세기(*strength of stone: SS*)라 한다. 모든 돌은 바둑판에 놓여지기 바로 전에 기본적으로 4의 세기를 가진다.

【정의 4.2】 돌이 놓인 자리의 주변으로 자기장처럼 돌의 힘이 일정하게 퍼져나간다. 이를 자리의 영향력(*influence power: IP*)이라고 한다. 돌의 세기와 자리의 영향력을 이용하면 바둑판의 모든 자리에 대해서 자리의 소유자를 구분할 수 있다. 그러므로 돌이 놓여있든지 빈자리이든지 간에 모든 자리는 0.0에서 1.0범위의 어떤 수치를 가지는데 이를 자리값(*position value: PV*)이라 정의한다.

본 논문에서는 돌을 놓았을 때 그 돌이 가지는 세기를 구하기 위해서 IP의 분포를 이용한다. 세력의 범위는 IP의 분포에 해당하는 자리의 개수를 산출하여 결정한다.

또한, 바둑판의 모든 자리는 PV를 가지게 되는데, 이 값은 돌이 놓여지게 되거나 주변에 놓여지는 다른 돌에 영향을 받아 새롭게 변할 수 있다. 흑, 백 그리고 빈자리 등 현재 국면에서 그 자리의 소유자가 누구인지를 밝혀주는 수치이다. 어떠한 국면이든지 바둑판의 361자리에 대해서 자리값은 존재한다.

즉, 바둑의 국면에서 모든 자리마다 그 자리를 '누가 점유하고 있는가'에 따라서, 0이면 백이 그 자리를 차지한 것이며, 1이면 흑이 그 자리를 차지한 것으로 나타낸다. 만약, 0.5라면 빈자리가 그 자리를 차지한 것이므로 아무것도 놓여 있지 않은 바둑판의 경우는 빅 게임이라고 말할 수 있다.

4.1 PV 행렬에 의한 형세 평가의 표현

두 경기자, X와 Y가 진행하는 제로 합 게임에서 매번 같은 규칙이 적용된다고 가정하였을 때, 제일 좋은 전략은 X 혹은 Y가 한 가지 행위만을 반복하지 않는 것이다. 따라서, 바둑의 각 국면마다 착점 위치를 다르게 선정해야 하고, 그 행위는 상대에게 손해를 주는 만큼 자신에게 이득이 되게 하는 제로 합을 유지해야 한다. 이 경우, Y의 전략 y_1, y_2 에 있어서 X가 어떤 행위를 취하더라도 X자신의 이익 혹은 손해에 아무런 변화가 없어야 한다. 이는 Y의 전략에 있어서도 마찬가지로 X가 이길 가능성은 X에 대해서 최대이고, Y에 대해서는 최소이다.

바둑에서 다음 놓을 자리를 고르는 문제는 같은 국면이라 하더라도 다양하게 선택하게 된다. 그렇지만 임의의 국면에서 361자리마다 흑 또는 백이 어느 정도로 살아있는 지 또한, 국면 전체에 대한 형세를 추론할 수 있다. 따라서, 현 국면에 대한 형세 평가가 정확히 이루어진 후라면 다음 수를 선택하기가 훨씬 쉬워진다.

본 논문에서는 PV를 이용하여 국면의 형세를 평가할 수 있음을 제시한다. 이러한 19×19의 PV에 대해서 간단히 PV행렬(position-value matrix: PM)로 정의할 수 있다. 다시 말해서, PM은 바둑 국면의 361자리가 소유하는 PV들을 모두 합한 값을 말한다.

임의의 국면에 돌이 놓여지면 홀로 격리되는지 아니면 덩어리 또는 대마의 구성원으로 소속되는지에 따라 SS, IP, PV, PM의 계산이 달라진다.

361자리의 PV에 대해서 흑이 가지는 값에 해당하는 PV를 PV⁺라 하고, 백이 가지는 값에 해당하는 PV를 PV⁻라 하면, PV=PV⁺+PV⁻=1이 성립하며, 임의의 국면 a에서 흑에 대한 형세 PM_B(a)와 백에 대한 형세 PM_W(a)을 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

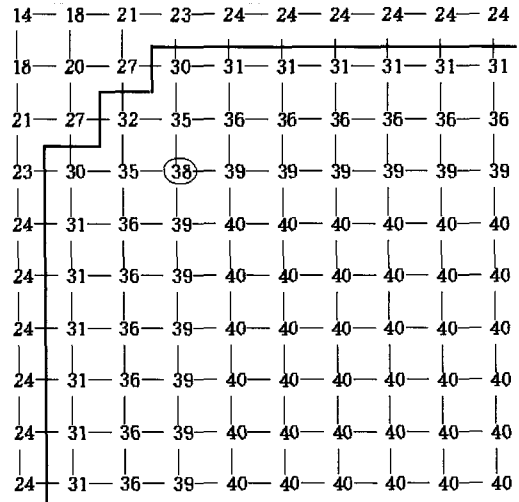
$$\begin{aligned}
 PM_B(a) &= \sum_{i=0}^{18} \sum_{j=0}^{18} PV^+(a, i, j) \\
 PM_W(a) &= \sum_{i=0}^{18} \sum_{j=0}^{18} PV^-(a, i, j) \\
 PM_W(a) &= 361.0 - PM_B(a)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

따라서, 본 논문에서는 임의의 국면에서 형세 평가에 대한 우열의 기준을 180.5로 결정하고, 흑에 대한 PM을 계산하여 180.5보다 크면 흑이 유리한 것이고, 이보다 작으면 백이 유리한 것으로 평가한다.

4.2 SS 함수

돌이 가지는 세기는 어떤 자리에 어떻게 놓였는가에 따라서 달라지게 된다. 주위에 돌이 전혀 없는 상태일 수도 있고 이미 놓여진 돌의 근처에 해당할 수도 있다. [그림 1]은 바둑의 대칭성에 따라서 제1사분면만을 고려하여 각 자리에 대한 영향력 분포의 수를 나타낸 것이다. 구분선을 경계로, 제1선 또는 귀 부분보다는 중앙으로 갈수록 분포의 수가 많음을

알 수 있다. 예를 들어, 화점 자리에 흑 돌이 놓여진다면 그의 영향을 받는 주위의 빈자리의 수는 38이다. 만약, 영향의 범위 이내에 이미 다른 돌이 존재한다면 그 분포수도 달라질 수 있다.



[그림 1] 각 자리가 갖는 영향력 분포의 수

[Fig. 1] Number of IP distribution each position has

예를 들어, 놓여진 돌에 바로 인접하여 같은 색으로 덩어리를 이루는 경우를 계산하면, 이는 두 개의 돌이 하나의 덩어리로 되면서 영향력 분포의 수를 증가시키기 때문에 기존에 가지고 있던 SS값이 달라진다. 영향력 분포는 돌과 해당 자리와의 거리가 매우 중요한 인자로 작용하는데 본 논문에서는 거리가 최대 4인 자리까지만 돌의 세력이 미치는 것으로 정하였다. 여기서, 거리(distance: d)는 두 개의 돌 사이의 경로의 길이를 의미한다.

이제 IP의 분포 수를 이용하여 돌의 SS값을 새롭게 결정할 수 있다. IP의 분포 수에 따른 SS값의 결정은 【알고리즘 1】과 같다.

[알고리즘 1] 영향력 분포의 수에 따른 SS의 결정

- 1) 돌이 놓여진 자리와 이웃하는 8방향 자리, 최대 거리가 40이내인 모든 자리에 대해서 영향력이 미칠 수 있는지 검사하여 영향력 분포의 수(number of distribution)를 구한다.
- 2) 돌의 세기는 영향력 분포의 수에 따라 다음과 같이 구분한다.
 - ① 41 이상이면: SS=6
 - ② 30 ~ 40이면: SS=5
 - ③ 10 ~ 29이면: SS=4
 - ④ 3 ~ 9이면: SS=3
 - ⑤ 1 ~ 2이면: SS=2
 - ⑥ 0 이면 : SS=1

따라서, 놓여진 돌에 바로 인접하여 같은 색으로 덩어리를 이루는 경우라면 그들의 영향력 분포의 수는 41이상이므로 그들의 SS는 6으로 바뀌게 된다.

4.3 IP 함수

임의의 국면에서 빈자리에 돌을 놓았을 때 일정한 힘이 정해진 범위 안에서 주변의 여러 자리에 세력을 미치게 된다. 이러한 IP는 국면의 형세를 분석함에 있어서 PV를 결정짓는 가장 중요한 요소로 작용한다. IP는 특정 국면에서의 장벽과 적을 결정하는 데도 이용된다.

임의의 빈자리에 돌을 놓았을 때 그 IP의 진행을 방해하는 장벽(wall)의 존재에 따라 분포가 달라질 수 있다. 장벽의 범위는 8방향으로 이웃하는 빈자리 즉, 인접한 자리와 마늘모 자리가 이에 해당한다. 다시 말해서, 영향을 미치는 범위 이내에 나의 돌 또는 적의 돌이 존재한다면 적이 접근하지 못하도록 하는 장벽이 설치되어 돌이 놓인 자리를 비롯한 8방향 자리에는 그 세력이 더 이상 진행하지 못한다.

일반적으로 IP는 돌이 놓인 자리와 그 주변 자리에 대해서 각각 다른 방식으로 계산한다. 첫 번째, 돌이 놓인 자리의 IP는 SS에 따라서 결정되므로 IP 분포의 수를 산출하여야 한다.

두 번째로, 돌이 놓인 자리에서부터 주변의 다른 빈자리로 끼치는 IP의 범위는 두 자리 사이의 거리에 반비례하도록 계산한다.

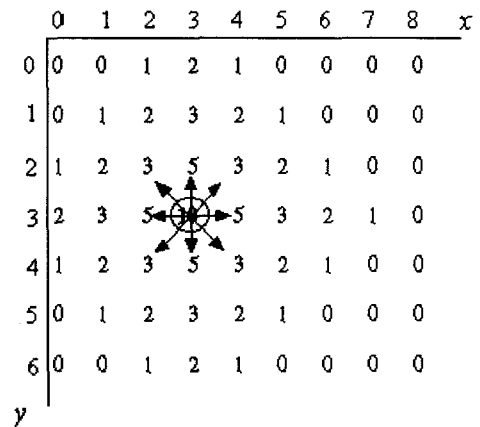
예를 들면, 바둑이 진행되어 흑과 백이 서로 어우러져 있는 국면이 있다고 가정하자. 이 때, 임의의 자리에 돌을 놓게 되면 식 (2)의 IP(d)과 같은 함수를

이용하여 돌이 놓여진 주변의 빈자리에 대한 영향력을 계산한다.

$$IP(SS) = SS \times 2$$

$$IP(d) = \frac{(d+1)}{2} \times \frac{1}{2^d} \times 10 \tag{2}$$

흑, 백 어느 쪽이든지 돌을 새로 놓을 때마다 놓여진 돌 주변의 IP는 다시 계산되어야 한다. 영향의 유형을 구분하기 위해서 흑은 긍정적으로, 백은 부정적으로 표현할 수 있다. 즉, 흑의 IP에 대한 부호는 양수(+)이고, 백의 부호는 음수(-)로 지칭한다.



[그림 2] 흑을 놓았을 때 IP값의 범위
[Fig. 2] IP ranges when black stone is put

만약, [그림 2]와 같이 현재 국면에서 화점의 빈 자리 (x, y)에 흑 돌, A를 놓았다고 가정하자. 그러면 돌이 놓인 A의 영향범위 내에 다른 돌이 없다면 A의 SS(x, y)는 5입으로 IP(SS(x, y))는 +10이고 또한, 그 주변의 자리들도 양수의 일정한 값을 가진다.

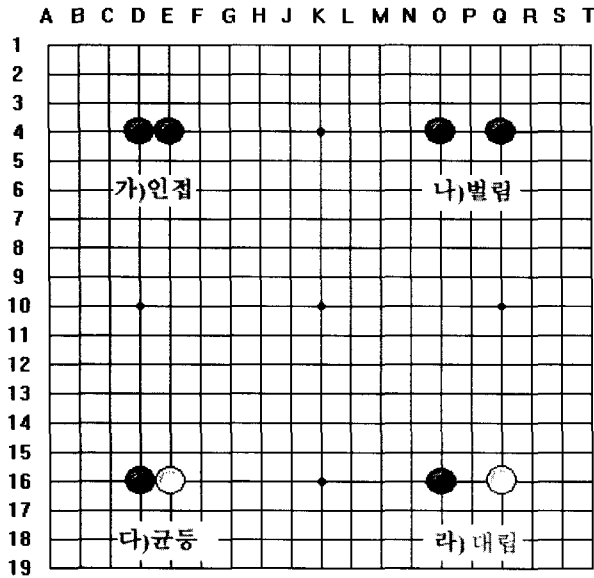
기본적으로 입의의 자리에 대한 IP의 연산은 현재의 IP와 새로 결정된 IP를 덧셈하는 것이다. IP 연산의 방법은 다음과 같다.

A에 이웃하는 8방향의 자리는 흑, 백 그리고 빈 자리 중에서 하나의 색을 가지고 있다. 첫 번째, 8방향의 자리 중에서 어느 자리, B가 빈자리라면 식 (2)에 의한 값을 가지게 된다.

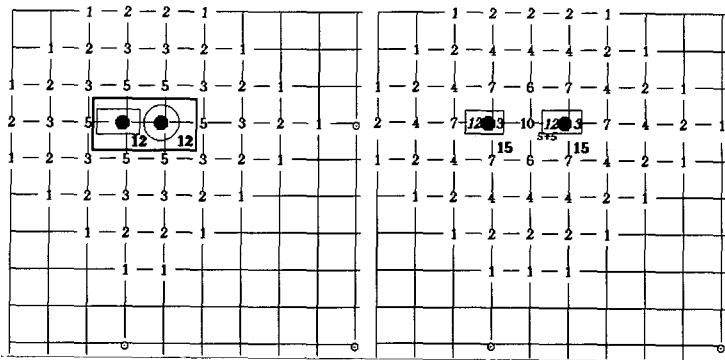
두 번째, B가 흑이라면 그들은 서로 같은 색이므로, 그들로부터 동시에 영향을 받는 자리, C의 IP는 A에 돌을 놓기 이전 값보다 커지게 된다. 이 때, A의 SS와 B의 SS도 기존의 값과 같거나 높은 값으로 변할 수 있다.

세 번째로, B가 백이라면 C의 IP는 서로 상쇄되어 이전의 값보다 작아지게 되고 상황에 따라서 A의 SS와 B의 SS도 기존의 값보다 작아질 수 있다.

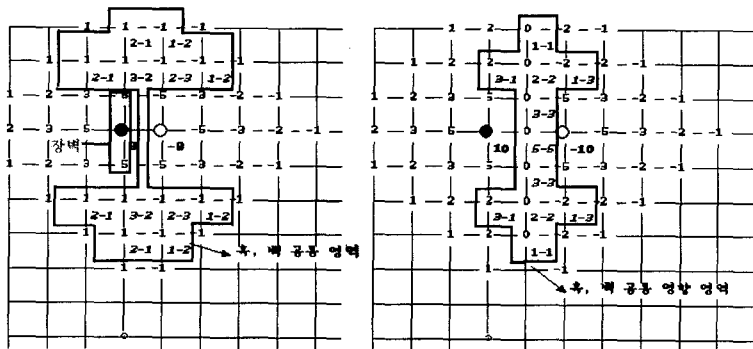
[그림 3]에 네 가지 경우의 사례가 제시되어 있다.



[그림 3.] IP 연산의 경우
[Fig. 3.] The case of IP operation



[그림 4] 그림 3의 가) 나)의 IP 연산
 [Fig. 4] The operations of 가) & 나) in Fig. 3.



[그림 5] 그림 3의 다) 라)의 IP 연산
 [Fig. 5] The operations of 다) & 라) in Fig. 3.

각각의 경우에 해당하는 IP를 나타낸 것이 [그림 4]와 [그림 5]이다.

[그림 3]의 가)의 경우, 두 개의 돌이 하나의 덩어리로 덩어리화 되었기 때문에 영향력 분포의 개수가 증가하여 SS값이 6이 되어 IP(SS)가 둘 다 12임을 알 수 있고, 두 개의 돌에 인접한 빈자리(d=1), 즉 IP(1)는 모두 5이다.

나)의 경우, 같은 색의 돌이 한 간 벌림 형태로 있을 때 SS가 6이 되면서 서로에게 IP영향을 주고 받고 있다. 따라서, 돌이 놓여진 자리 각각의 IP는

$IP(SS)+IP(2)=15$ 가 된다. 나머지 빈자리의 IP도 서로 영향을 주고받아 이전의 값보다 증가함을 알 수 있다.

다)의 경우는 흑, 백이 균등하게 세력을 미치고 있기 때문에 인접한 빈자리를 제외하고 서로 영향을 미치는 공통 영역에의 IP값이 이전보다 감소하고 있다. 또한, 돌에 인접한 자리에는 서로의 장벽이 설치되어 있어서 영향이 미치는 거리 이내에 있지만 실제로는 아무런 IP를 얻지 못하고 있다.

라)의 경우, 흑과 백이 한 간 벌립 형태로 늘어서 있기 때문에 흑과 백이 대립되어 공통으로 영향을 미치는 영역이 감소한다.

흑의 입장에서 본다면, 하나의 돌이 가질 수 있는 최대의 IP값은 52이다. 즉, 천원점에 놓였을 때 주위에 또 다른 흑 돌이 한 간 벌립, 또는 마늘모 형태로 24개가 있어야 한다. 이는 실전에서 전혀 나타날 수 없다. IP 함수는 연결성 검사, 대마 가능성, 독립적인 집의 결정, 안정도의 결정, 살아있는 돌과 빈자리간의 반응, 다음 수의 결정 등에 다양하게 이용할 수 있다.

4.4 PV 산정

이제 IP를 0.0에서 1.0사이의 PV로 변환시킬 수 있다. 만약, 어떤 한 자리의 IP가 양의 부호를 가진다면, 이는 반드시 $0.5 < PV \leq 1.0$ 범위의 PV로 대응되며, 음의 부호라면 이는 $0.0 \leq PV < 0.5$ 범위의 PV로 변환된다. 어떤 자리의 IP가 0이면 그 자리의 PV는 정확히 0.5이고 흑, 백 누구의 소유도 아니다.

임의의 국면에서 PV들은 언제나 0에서 1사이로 속하게 되며, 누가 자리를 점유하는지를 결정할 때, 1에 가까울수록 그 자리를 흑이 차지할 비중이 강하며, 0에 가까울수록 백이 차지할 비중이 강한 것으로 판단할 수 있다.

바둑이 진행되어 흑과 백이 서로 어우러져 있는 국면에서의 각 자리에 대한 PV는 【알고리즘 2】로 산출한다. 예를 들어, 아무것도 없는 바둑판에서 흑이 먼저 둔다고 가정하고, 화점 (3, 3)의 자리에 착수하였다면, 현재 국면에서의 PV, PM을 구하는 과정은 다음과 같다.

- 1) IP 분포의 수가 38임으로 $SS=5$ 이고 $IP(SS)=10$
- 2) $PV(3, 3)=0.92$
- 3) 화점주변의 빈자리에 대해서 각각 $IP(d)$ 를 계산
- 4) $PM_B(1) = \sum_{i=0}^{18} \sum_{j=0}^{18} PV^+(1, 3, 3) = 184.2$
- 5) 따라서 흑이 백보다 3.7만큼 앞서고 있는 형세이다.

5. 실험 및 고찰

바둑 국면에서 형세는 각 자리마다 흑과 백의 소유를 결정함으로써 이루어진다. 본 논문에서 구현한 SES는 바둑의 국면에 돌이 놓여질 때마다 돌의 세기와 영향력, 안정도, 자리값 등의 수치적 정보를 이용하여 형세를 평가한다. 기본 설계는 윈도우 시스템에서 동작하도록 하였고, 그 검증과정으로 프로그램의 실전 기보의 형세 평가 결과와 비교하였다. 또한, 상용 프로그램인 Nemesis에 대해서 같은 기보의 동일 국면에서 형세 평가한 결과와 비교하여 신뢰성을 입증하였다.

【알고리즘 2】 PV를 산출하는 프로시쥬어

- 1) 돌이 놓인 자리의 $IP(SS)$ 를 구한다.
- 2) 돌이 놓인 주위의 빈자리에 대해서 다음을 수행한다.
 - ① d (거리)가 1이상인 자리에 대해서 $IP(d)$ 를 적용한다.
 - ② 흑의 영향이면 양수로, 백의 영향이면 음수로 누적하며, 영향받기 전의 IP와 지금 계산된 IP를 덧셈한다.
- 3) 361자리에 대해서 다음을 수행한다.
 - ① $temp = IP$ 를 24로 나눈 값(여기서, 24는 SS가 최대일 때 $IP(SS)$)
단, 이 값이 0.5초과이면 0.5를, -0.5미만이면 -0.5로 한다.
 - ② $PV = 0.5 + temp$

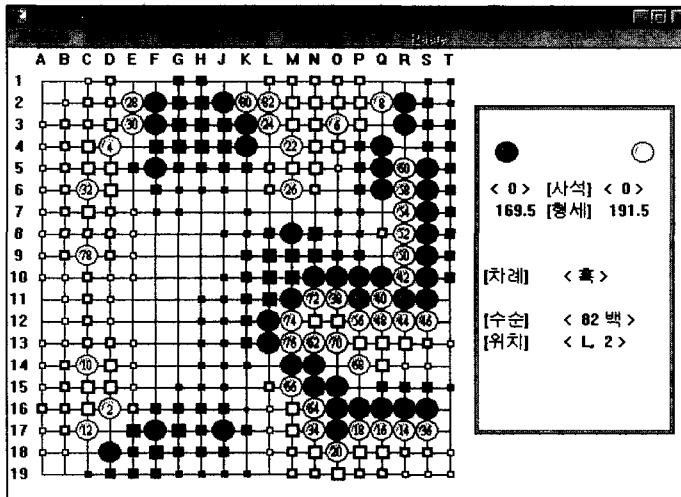
실전 기보에 대한 형세 평가의 실험은 1999년 실시된 국내의 주요 기전에서 이루어진 모든 대국을 대상으로 형세가 해설된 특정 국면[13]을 지정하여 각 기전별로 본선, 준준결승, 준결승, 결승 등 모든 실전 대국에 대해서 본 논문의 SES와 상용 프로그램인 Nemesis의 형세 평가 일치 여부를 비교하였다. SES가 임의의 국면에서 수행한 형세 평가 결과를 보여주는 외양은 [그림 6]과 같다.

전체 실험에 사용된 기보의 수는 모두 222개이고, 인쇄오류 및 형세불명을 제외한 실험 대상 국면의 수는 254개였다. 이 중에서 본 논문의 SES는 180개의 국면에 대해 [13]의 평가와 일치하여 70.9%의 적중률을 보였다. 하지만 상용 프로그램인 Nemesis는 SES보다 낮은 61.8%의 적중률을 보였다. [표 1]은 이러한 실험 결과를 종합적으로 제시한 것이다.

SES와 Nemesis가 적중률이 동일하게 나온 기전은 모두 3개이고, 나머지 8개 기전에 대해서는 모두 SES의 형세 평가가 Nemesis보다 더 우수한 것으로 나타났다. 따라서, 본 논문의 SES가 상용 프로그램보다 형세 평가에 있어서 프로기사의 결과에 좀 더 근접하였음을 알 수 있다.

실험 결과를 분석해보면, SES는 초반의 형세 평가에 매우 우수한 성능을 나타내었으며, 항상 65% 이상의 적중률을 보여 주었다. 반면에, Nemesis는 초반, 중반, 종반 어디에서나 65%를 상회하지 못하고 있다.

물론, SES나 Nemesis 등 컴퓨터 바둑 프로그램들은 사활, 패, 촉과 같은 복잡한 국면에서 수 읽기는 좀더 정확해야할 필요성이 요구된다. 바둑에서는 한 수에 의한 실착이 형세를 역전시키는 경우가 허다하게 일어나기 때문에 그에 대한 평가가 좀 더 신중해야 할 것이다.



[그림 6] [13]에서 82수까지 진행된 국면의 형세 평가

[Fig. 6] Situation evaluation on the face 82th move is progressed in [13]

[표 1] 각 기전별 적중률 비교
 [Table 1] Hit-ratio comparison in all practice Go

구분		실전 국면수	일치 국면수	적중률(%)
제4기 LG정유배 프로그전	SES	20	16	80.0
	Nemesis		15	75.0
제33기 왕위전	SES	39	29	74.4
	Nemesis		28	71.8
제7기 016배 배달왕기전	SES	19	11	57.9
	Nemesis		11	57.9
제30기 SK엔크린배 명인전	SES	28	22	78.6
	Nemesis		17	60.7
제11기 기성전	SES	23	18	78.3
	Nemesis		13	56.5
제43기 국수전	SES	18	10	55.6
	Nemesis		9	50.0
제4기 빅스배 천원전	SES	17	13	76.5
	Nemesis		8	47.1
제34기 한솔엠닷컴 018배 패왕전	SES	21	15	71.4
	Nemesis		11	52.4
제18기 KBS바둑왕전	SES	7	5	71.4
	Nemesis		5	71.4
제9기 비씨카드배 신인왕전	SES	24	16	66.7
	Nemesis		16	66.7
제3기 SK가스배 신에프로10걸전	SES	38	25	65.8
	Nemesis		24	63.2
계	SES	254	180	70.9
	Nemesis		157	61.8

6. 결론

바둑에서 형세 평가는 개략적으로 흑·백 쌍방 진영의 모양이나 확정된 집 등을 비교함으로써 전체 국면의 유·불리를 판단하고 자신의 우세한 지역과 적이 우세한 지역을 알아내는 것이다.

컴퓨터 바둑을 설계할 때 가장 힘든 문제중의 하나는 국면의 형세를 평가하기 위한 함수를 어떻게 개발할 것인가 하는 것이다. 따라서 바둑 국면의 변화에 따른 361 자리의 소유 여부를 분명히 할 필요

가 있다.

본 논문에서는 조합 게임론을 적용하여 바둑 국면이 진행될 때마다 돌의 세기와 영향력 분포에 의한 수치적 요소를 이용하여 형세 평가 시스템(SES)을 구현하였다. 이는 흑, 백간의 영역 차이를 명백하게 표현하므로 바둑의 전반적인 형세를 평가하는데 매우 효과적이다.

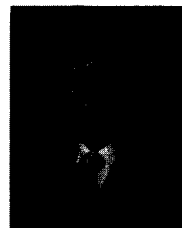
실험 결과, 정석 사례를 구축하여 사용하는 상용

프로그램인 Nemesis와의 형세 평가를 비교 분석한 결과에 의하면, SES는 초반의 형세 평가에 매우 우수하며, 실전 기보에 대한 형세 평가의 적중률에 있어서 Nemesis보다 전체적으로 10% 앞서는 것으로 나타났다.

※ 참고문헌

- [1] M. S. Campbell and T. A. Marsland, "A comparison of Minimax tree search algorithm," Artificial Intelligence, Vol. 20, No. 4, pp. 347-367, 1983.
- [2] D. A. McAllester, "Conspiracy numbers for Min-max search," Artificial Intelligence, Vol. 35, No. 3, pp. 287-310, 1988.
- [3] L. V. Allis, Searching for solutions in games and artificial intelligence, Cip-gegevens Koninklijke Bibliotheek, Den Haag, 1995.
- [4] A. Plaat, J. Schaeffer, W. Pijls, and A. D. Bruin, "An algorithm faster than NegaScout and SSS* in practice," Proceedings of Computer Strategy Game Programming Workshop at the World Computer Chess Championship, pp. 273-279, 1995.
- [5] M. Müller, "Computer Go as a sum of local games: An application of combinational game theory", Ph. D Thesis, ETH Zürich, 1995.
- [6] K. Chen, "The move decision process of Go Intellect," Computer Go, No. 14, pp. 9-17, 1990.
- [7] 김영상, 유기영, "A Candidate Generation System Using Probability Matrix in Computer Go," IC-AI '99 International Conference on Artificial Intelligence (Las Vegas), Vol II, pp. 628-628, 1999.
- [8] David B. Benson, "A mathematical analysis of Go," Proc. of 2nd Seminar on Scientific Go-Theory. HEINE, K. (ed.) Institut für Strahlenchemie, Mühlheim a.d. Ruhr. 1979.
- [9] David B. Benson, "Life in the Game of Go," Information Sciences vol.10, American Elsevier Publishing Company, Inc., pp. 17-29, 1976.
- [10] M. Müller, E. Berlekamp, B. Spight, "Generalized Thermography: Algorithms, Implementation, and Application to Go Endgames," Technical Report, 1996.
- [11] M. Müller, "Measuring the performance of Go programs," Proceedings International Go Congress, Manuscript available by <http://nobi.ethz.ch/martin/mueller91a.ps>, 1991.
- [12] E. Berlekamp, D. Wolfe, Mathematical Go: Chilling gets the last point, AK peters, Wellesley, MA, 1994.
- [13] 2000 바둑연감, (재) 한국기원, 2000.6.15 발행.

김 영 상



1990년 2월 : 울산대학교 전자계산학과 졸업(공학사).
 1990년 ~ 1991년 : 현대전자(주) 산업전자연구소에서 근무.
 1993년 2월 : 경북대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사).
 2001년 2월 : 경북대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학박사).
 1993년 3월 ~ 현재 : 제주한라대학교 컴퓨터정보계열에 재직중.
 관심분야 : Graph Theory, 게임 이론, 멀티미디어 정보보호 등