電腦圍棋打劫的策略

林順喜
國立台灣師大
資訊工程研究所
linss@csie.ntnu.edu.tw

黃士傑
國立台灣師大
資訊工程研究所
aja@csie.ntnu.edu.tw

顏士淨
國立東華大學
資訊工程研究所
sjyen@mail.ndhu.edu.tw

摘要

打劫在圍棋裏佔據了十分重要的位置，然而目前的電腦圍棋程式大都不具備打劫的能力。我們利用最大最小搜尋法的原則，得出本劫最佳的打劫策略，使得電腦圍棋程式在處理本劫時，能在局部求得獲利最大或損失最小的下法。我們定義了棋步、劫爭與劫材的價值，作為探討打劫策略的基礎。我們也詳細探討了打劫過程中劫材的使用策略。

關鍵詞：電腦圍棋、打劫、劫材、最大最小搜尋法

一、緒論

圍棋是誕生於中國的鬥智遊戲，主要特色是規則簡單，但是由於盤面廣大變化可說無窮無盡，圍棋已被證明為 P-Space Hard 的問題[9]。關於圍棋史料，請參閱[1][2]。電腦圍棋程式的歷史，可追溯自 1960 年，D. Lefkovitz 設計出第一個電腦圍棋程式[4]。八年後，Zobrist 設出第一個打敗人類(圍棋初學者)的電腦圍棋程式[5]。1980 年代，由於世界電腦圍棋比賽的推動，以及商業化的結果，電腦圍棋成為一個引人注目的研究領域，使得每年電腦圍棋程式的棋力均有穩定的進步。1990 年代，世界電腦圍棋比賽的平均參賽者已超過 40 個，來自全世界不同的國家。有關電腦圍棋的規則及相關資料，可參考[6][7][8]。

打劫在圍棋中佔據了一個相當重要的地位，在高手對局中，打劫隨處可見，甚至到了幾乎每局必有打劫的地步。目前,只有少數的圍棋程式[10][11]有處理簡單的打劫，大多數在電腦圍棋世界比賽得名的程式，都未處理打劫。據我們所知，目前對於打劫的研究，著重於劫型棋型的探討[3][12]，牽涉到組合對局理論[13]，尚未有從策略面探討打劫的研究。本論文探討電腦圍棋中的打劫問題，針對的是根據價值的計算與判斷而決定的打劫策略。關於打劫相關知識，請參閱[14][15]。

二、打劫的規則與棋步的價值

「打劫」或「劫爭」是圍棋中同型反覆循環的情況。「打劫」的英文是 ko，係從日語發音而來。應氏規則[17]與日本圍棋規約[18]對「打劫」分別規定如下：

應氏規則第五條：『劫型中可互提之子稱為“劫子”。連續反覆所爭之劫子稱為“熱子”。凡提取熱子須間隔一實手或虛手，否則爭窮。』

日本圍棋規則第六條：『相互提掉對手的一個棋子的棋形稱之為打劫。被提的一方,必須至少隔一手才能提回來。』

一棋步的價值即一棋步的大小，可用「來回比較法」來計算[16]。劫爭的價值可由計算棋步價值的觀念來計算。我們只要分別計算黑棋勝劫與白棋勝劫的地域，其差距便是此劫爭的大小。劫材的價值，是指一方若不理此劫材，另一方再繼續下一棋步的價值。換句話說，劫材的價值就是在當作劫材的那個局部，連下兩手的價值。

三、劫材的分類

「劫材」(ko threat)是在打劫時，用來使對方應一手而達到隔一手目的之棋步。本篇論文中，我們特別加上一個額外條件，劫材必須包含一個性質：對方應一手，便完全不損失。若是劫材本身就帶有地域的價值，則歸類到有價值的棋步。圍棋對局中出現的劫材可說是各式各樣，有些能計算其價值，有些卻難以計算，例如「以劫換劫」(方案之一是按照《劫爭辭典》[14]第 22-25 頁所提，視為劫爭價值的三分之二)。

在圍棋對局中，有時會出現無限劫材的情況(例如「雙劫活」)，在這個局部，白棋就擁有無限的劫材。解決白棋有無限劫材的方案之一，是在其他的劫爭開始前

解決劫爭，就可拆掉白棋在這裏的劫庫。下面我們探討一些特殊的劫材。

雙方只得其一的劫材

雙方只得其一的劫材，意即在一個局部中的劫材，對雙方來說都是劫材，因此。雙方只得其一的劫材，有三種可能情況：一.只對黑棋符合條件，二.只對白棋符合條件。三.對黑棋白棋都符合條件。 第一、二種情況，將此劫材分別算為黑白方的劫材，而不成為另一方的劫材。第三種情況，則算為雙方的劫材，並且由於先使用的一方可以一次全部下完，因此全部只算成一個劫材。

劫材生出的劫材

圍棋對局中，常常出現所謂的「劫材生劫材」，意即在一個棋局局部中，使用一個劫材後，又產生出新的劫材來。劫材生劫材的特色是前面的劫材用完才會產生後面的劫材，先後順序是固定的，因此可以視為先後順序固定的「一組劫材」。

本身劫

當劫爭與一棋塊的死活有關時，能作活或突破包圍網的劫材，便稱為「本身劫」。劫材生劫材由於是先後順序固定，因此可以將衍生出來的劫材總數，算入我方劫材總數中，其大小便是目前能用的劫材大小。本身劫是棋塊發生與死活有關的劫爭時，必須優先使用，因為將來發生其他劫爭時，此劫爭的本身劫不一定能成為劫材。

四、打劫的策略－本劫解題方法

據估記，本劫在圍棋對局中的打劫，佔了 90%以上的比例。本劫是各種打劫中最單純、最簡單，也是最重要的。其他種類的劫爭，都是本劫的延伸與複雜版本。本章中，我們先展示我們對本劫的策略，再於下節解釋與證明我們的策略根據。我們預設我方為黑棋，而此演算法當然也適用於白棋。首先我們先定義解題過程中所用到的參數：

(1) 劫爭的價值以 **k** 表示

(2) 黑方劫材價值下限((Black Ko Threat Value Lower bound,**BKTVL**)與白方劫材價值下限(White Ko ThreatValue Lower bound,**WKTVL**)，劫材價值下限是我們設定的一個下限值，用來求出劫材價值大於或等於劫材價值下限的劫材個數，這些價值大於或等於劫材價值下限的劫材，就是符合條件的劫材。對黑方與白方所設的劫材價值下限不一定相同，因為我們分別定義「黑方劫材價值下限」與「白方劫材價值下限」。

(3)黑方盤面上 **m** 個符合條件的劫材 b_i 及其價值、白方 n 個符合條件的劫材 w_i。$b_i \geqq BKTVL,\ 1 \leqq i \leqq m$， $w_i \geqq WKTVL,\ 1 \leqq i \leqq n$。符合條件的劫材，即為決定開始打劫後，所使用的劫材順序。由於我們預設我方是黑方，因此當開始打劫後，黑方便從 b_1 開始使用劫材。得到黑白雙方各有 m 與 n 個符合條件的劫材後，黑方(我方)的劫材依照下面的原則排列將 B 建構出來：

(甲)所有雙方只得其一的劫材，排在最前面。若有多個，b_1 是其中價值最小的。

(乙)接著後面排本身劫，從價值小的排到價值大的。若第一項中沒有劫材，則 b_1 是其中價值最小的。

(丙)接著後面排一般的劫材，從價值小的排到價值大的。若第一、二項都沒有劫材，則 b_1 是其中價值最小的。

我們預設雙方都未使用損劫，至於其他價值小於「劫材價值下限」的劫材，其中價值最大的劫材其價值用 b_u 表示。

(4)盤面上除了劫爭之外的有價值的棋步：$\mathbf{X}=(x_1,x_2,x_3,\cdots)$，$x_1 \geqq x_2 \geqq x_3 \cdots > 0$，$\mathbf{X_{even}} = x_2+x_4+x_6+\ldots$，$\mathbf{X_{odd}} = x_3+x_5+x_7+\ldots$。有價值的棋步中，$x_1$ 是目前盤面上除了劫爭之外價值最大的棋步，x_2 是 x_1 被下了之後，盤面上除了劫爭之外價值上最大的棋步，以此類推。有價值棋步的個數，依程式的搜尋深度與判斷能力而定，因此我們並不定義有價值的棋步共有幾個，而是保持開放的規格。為了判斷式的簡潔，我們將 x_2 之後的第偶數大的所有的有價值棋步的價值和定義成 X_{even}，x_3 之後的第奇數大的所有的有價值棋步的價值和定義成為 X_{odd}。

由於劫爭需要隔一手才能提劫，因此在電腦圍棋裏，除了棋局開端先下的一方之外，我方總是需要對方上一步下在哪裏的資訊，以判斷對方上一步是否造成我方的禁著。若沒有上一步對方下在哪裏的資訊，很可能對方剛提劫的劫爭是目前盤面最大的棋，我方程式據此就提劫而馬上被判輸。因此，對方上一步下在哪裏是我方決定下一步時必備的輸入與已知條件。下面我們利用本劫中白方在上一步下在哪裏的資訊，也就是黑棋在所會遇到的七種情況，提出合理且最佳的下一步，每一種情況代表白棋的一種下法，在後面我們將證明其正確性。在這七種情況中，並不包含造劫者所會遇到的情況。換言之，我們的演算法並未處理造劫，除了造劫之外，

在劫爭中會碰到的每一種情況我們都有考慮。造劫是未來的研究課題。下面，我們預設劫爭的第一步是白方提劫(或造劫)，並根據白方七種下法來決定黑方最佳的下一步：

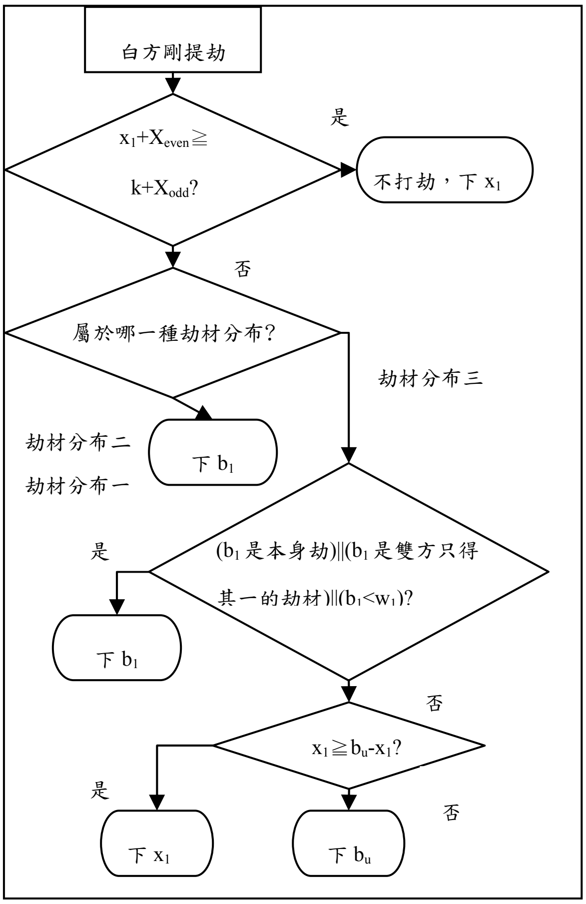


圖 4.1 第一種情況

情況一.白方提劫，輪到我方(黑方)找劫材

首先判斷「本劫的打劫條件」：$x_1+X_{even}\geqq k+X_{odd}$?若符合，就開始檢查雙方的劫材分布來決定下一步。我們將劫材分布的情況分為三種，在每種分布中，先設定 BKTVL 與 WKTVL，便可得到雙方符合條件的劫材數 m 與 n，來判別是否屬於目前檢查的劫材分布，若屬於目前檢查的劫材分布，便依照前述的方法將 B 建構出來。雙方的劫材分布可以分成下面的三種情況：

劫材分布一.我方一定能取得大於或等於 $k+X_{odd}-(x_1+X_{even})$ 的利益

$BKTVL=2(k+X_{odd}-X_{even})$,

$WKTVL=2x_1+1$

若 m>n 就符合此種分布，則黑方下 b_1。若不符合，則檢查劫材分布二。

劫材分布二.我方一定能取得大於或等於零的利益

將 BKTVL 與 WKTVL 一個遞減一個遞增的設定，依序檢查雙方的劫材數。流程如下面的 pseudo code 所展示：

```
for (i=1;i≦ k+X_odd-(x_1+X_even);i++)
{       BKTVL=[2(k+X_odd-X_even)]-i;
        WKTVL=(2x_1+1)+i;
(求得黑方白方符合條件的劫材數分別為m,n);
        If (m>n) break; }
```

檢查過程中只要符合 m>n，跳出迴圈後下 b_1。若不符合，則檢查劫材分布三。

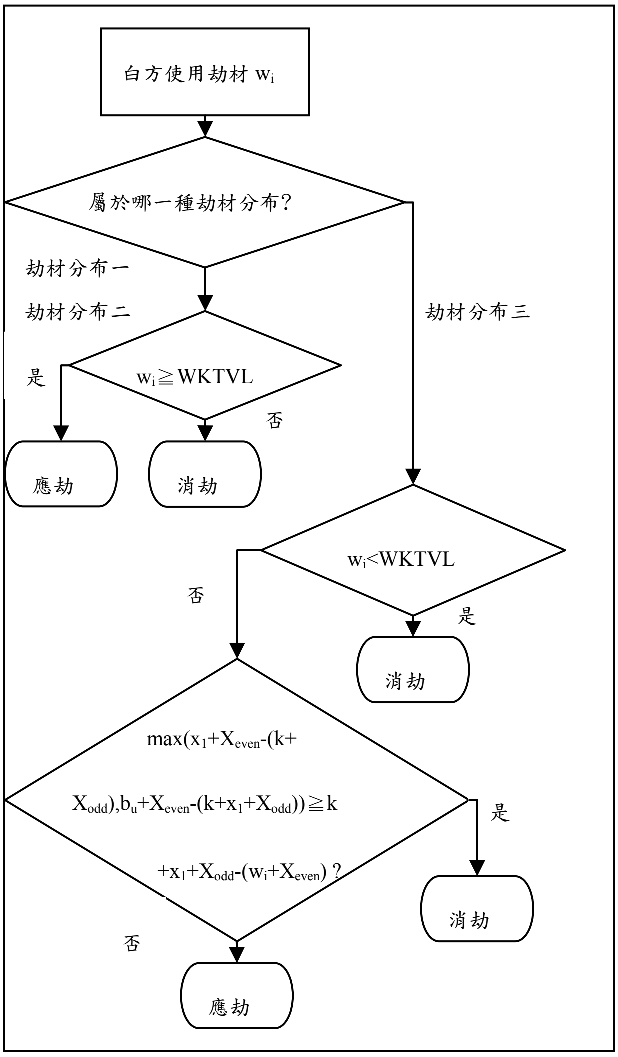


圖 4.2 第四種情況

劫材分布三.我方一定遭受損失

$BKTVL=k+x_1+X_{odd}-X_{even}$ $WKTVL=k+x_1+X_{odd}-X_{even}+1$

若 $m\leqq n$ 就符合此種分布。這時若 b_1 是雙方只得其一的劫材或為本身劫，則使用 b_1。否則比較 b_1 和 w_1 的價值，若 $b_1<w_1$，則下 b_1。若 $b_1\geqq w_1$，就比較 x_1 與 b_u-x_1，若前者不小於後者就下 x_1，否則下 b_u。

第一種情況，輪到方找劫材的演算法過程，可以用圖 4.1 的流程圖來表示。

情況二.白方回應我方的劫材

白方回應我方的劫材時，不論我方劫材較多或劫材較少，我方都一律提劫，因為我方找劫材即已預設白方會應劫。

情況三.白方消劫

白方消劫時，若上一步我方使用劫材 b_i，則立即取得劫材的利益 b_i，否則 x_1。

情況四.白方找劫材

類似情況一，檢查雙方的劫材分布來決定下一步：

劫材分布一.我方一定能取得大於或等於 $k-x_1-x_2$ 的利益，若白方使用的劫材 $w_i \geqq WKTVL$ 就應劫，否則消劫。

劫材分布二.我方一定能取得大於或等於零的利益，若白方使用的劫材 $w_i \geqq WKTVL$ 就應劫，否則消劫。

劫材分布三.我方一定遭受大於或等於零的損失，若白方使用 $w_i < WKTVL$ 則消劫。否則比較 $\max(x_1+X_{even}-(k+X_{odd}), b_u+X_{even}-(k+x_1+X_{odd}))$ 與 $k+x_1+X_{odd}-(w_i+X_{even})$，若前者較大，則我方應劫。若後者較大，則選擇消劫。

第四種情況的演算法過程，可以用圖 4.2 的流程圖來表示。

情況五.白方下有價值的棋步

黑消劫。若白方提劫而未消劫，則黑提劫。

情況六.白方取得劫材利益

這是在黑方不理白方的劫材消劫之後，所以黑方下 x_1。

情況七.白方下瞎劫、單官或虛手

黑消劫。

以下我們要由三個方面來證明上節所提出的打劫策略：「本劫的打劫條件」與「劫材價值下限」、交換劫材與減少損失、有價值棋步的循環。

I.「本劫的打劫條件」與「劫材價值下限」

下面我們藉著流程圖展示本劫整個打劫的過程，並觀察流程圖，利用 Minimax 搜尋原則求出「本劫的打劫條件」與「劫材價值下限」。假設白方剛提劫，雙方都將劫材耗盡才放棄劫爭，且雙方都未使用損劫，整個流程便如圖 4.3(a)所示。圖 4.3(b)與 4.3(c)是圖 4.3(a)的最底層部分。最後若黑方勝劫，底層是 4.3(b)，白方勝劫則是 4.3(c)。

流程圖中所用到的參數定義如下：

(1)k 為劫爭的價值

(2)黑棋使用的劫材其價值依所下的順序為 $b_1,b_2,b_3,\cdots$(不一定按大小排列)

(3)白棋使用的劫材其價值依所下的順序為 $w_1,w_2,w_3,\cdots$(不一定按大小排列)

(4)盤面上劫爭之外的有價值的棋步 $x_1,x_2,x_3,\cdots,x_1 \geqq x_2 \geqq x_3\cdots$

(5) $X_{even} = x_2+x_4+x_6+\ldots.$

(6) $X_{odd} = x_3+x_5+x_7+\ldots.$

流程圖第(一)部分：

白棋提剛劫後，黑方需檢查佔取 x_1 讓劫給白方是否為較有利的下法，就是檢查「本劫的打劫條件」。黑方下 x_1 後，白方消劫得 k，黑方再下 x_2，白方再下 x_3…等，如流程圖所示，進行下去黑白方的利益差為 $x_1+X_{even}-(k+X_{odd})$。若利益差大於或等於零，黑方下 x_1 是有利或不損失的下法，因此選擇 x_1。由此可知「本劫的打劫條件」為 $x_1+X_{even} \geqq (k+X_{odd})$。若不符合「本劫的打劫條件」，黑方將使用劫材 b_1，進入流程圖第(二)部分。

流程圖第(二)部分：

既然決定要打這個劫爭，黑方就使用某一個劫材 b_1，此時白方有兩種下法。白方若消劫，就進入流程圖第(三)部分，若應劫則入流程圖第(四)部分。

流程圖第(三)部分：

白方消劫，黑方再花一步取得 b_1 的劫材利益，接著雙方便依序下有價值的棋步，因此黑白方的利益差為 $b_1+X_{even}-(k+x_1+X_{odd})$。

流程圖第(四)部分：

白方應劫，黑方提劫後，便進入流程圖第(五)部分。

流程圖第(五)部分：

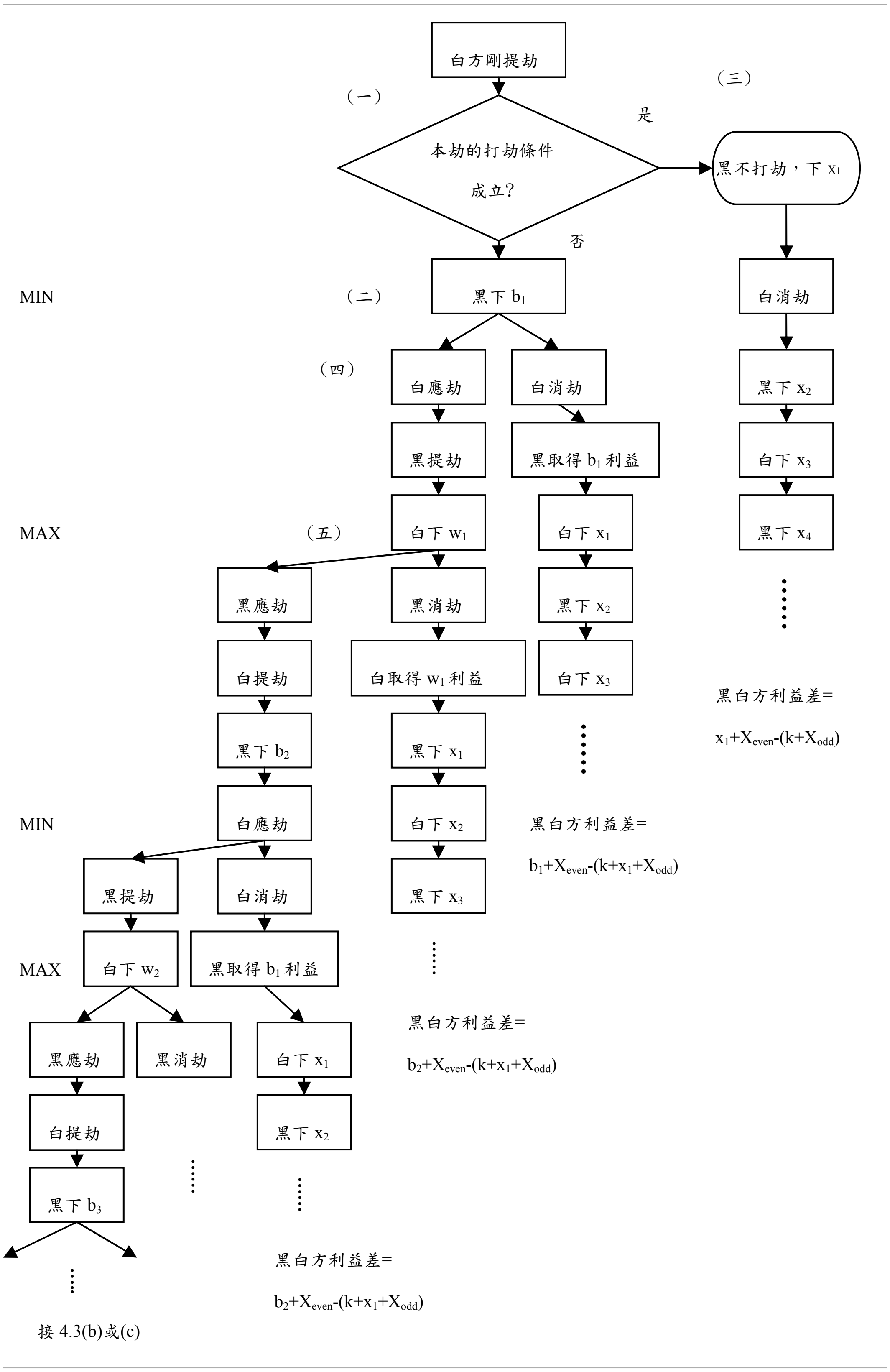
白方找某一劫材 w_1，黑方同樣有兩種應法，若應劫，則一直循環下去，若消劫，則接下來類似流程圖第(三)部分，黑白方利益差$=k+x_1+X_{odd}-(w_1+X_{even})$。

流程圖第(六)部分(如圖 4.3(b))：

這是最後黑方勝劫的情況。黑方找劫材 b_i，若白方消劫，接下來的進行，黑白方的利益差黑白方利益為 $b_i+X_{even}-(k+x_1+X_{odd})$。若白方應劫，因無劫材繼續爭劫，只好下 x_1，黑方消劫後，雙方依序下有價值的棋步，黑白方的利益差為 $k+X_{odd}-(x_1+X_{even})$。

流程圖第(七)部分(如圖 4.3(c))：

這是最後白方勝劫的情況，同流程圖第(六)部分，因為黑方無劫材繼續爭劫，只好在 x_1 與不理白方的劫材兩者中作一選擇。



流程圖 4.3(a) 打劫的流程圖

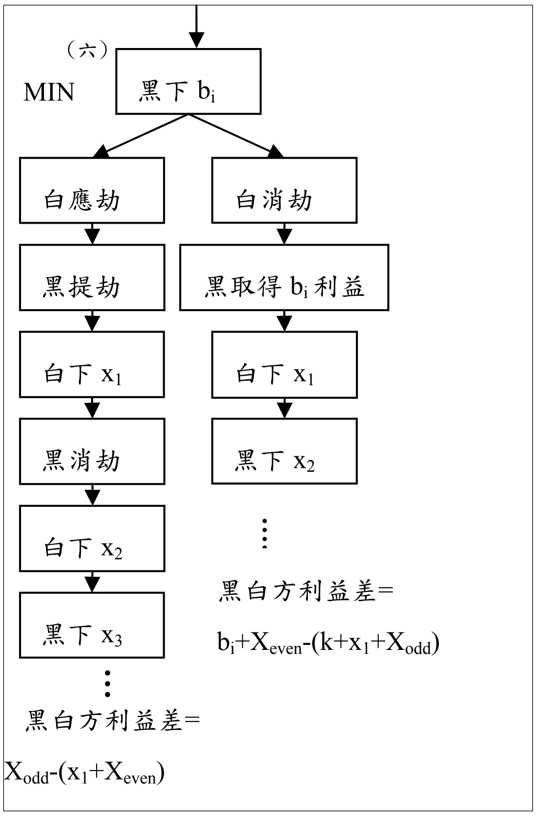


圖 4.3(b) 接續流程圖 4.3(a)-黑方勝劫

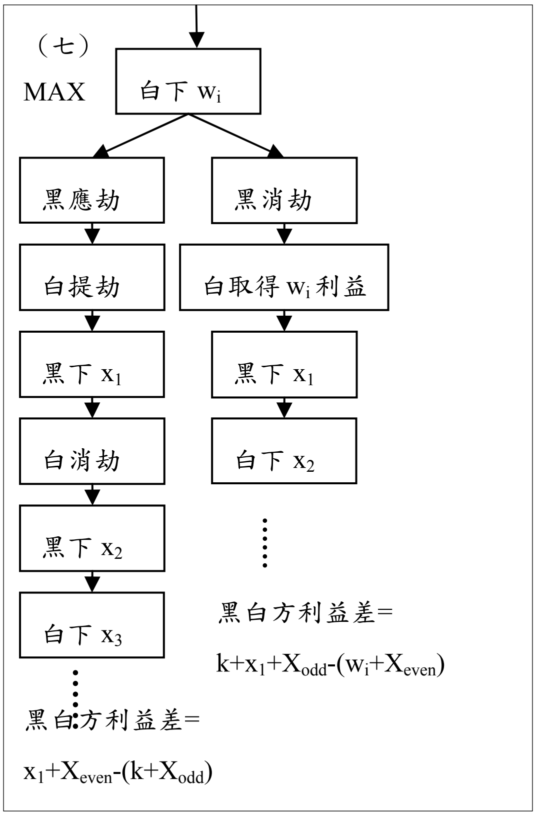


圖 4.3(c) 接續流程圖 4.3(a)-白方勝劫

觀察整個打劫的流程圖，可以發現幾點特性：

(甲)往左邊展開部分，雙方一直回應對方的劫材，使整個流程圖的樹狀結構呈現傾斜。

(乙)整個打劫過程的黑白利益差只有四種可能結果：(1)當黑方找某一劫材 b_i 下時(如圖 4.3(b))，若白方消劫，進行下去黑白方利益差為 $b_i+X_{even}-(k+x_1+X_{odd})$。(2)反之，此時若白方改佔 x_1 換取輸劫，黑白方利益差為 $k+X_{odd}-(x_1+X_{even})$(3)每當白方找某一劫材 w_i 下時(如圖 4.3(c))，若白方消劫，進行下去黑白方利益差為 $k+x_1+X_{odd}-(w_i+X_{even})$。(4)反之，此時若黑方改佔 x_1 換取輸劫，黑白方利益差為 $x_1+X_{even}-(k+X_{odd})$。

(丙)假設黑方的劫材比白方多，且劫材價值都很大，白方的劫材不但少且價值都很小。也就是說，黑棋在這場劫爭佔有絕對的優勢，可以勝劫。那麼黑方所能獲得的最大利益是多少呢？流程圖 4.3(a)每次方找劫材，由於白方不理劫材的損失過於巨大，因此會全數應劫，流程便一直往左邊的分支走。到最後流程圖 4.3(b)，白方的劫材用盡，只好選擇下 x_1。也就是說，黑方在具有絕對優越的打劫條件下，所能獲得的最大利益，是在圖 4.3(b)的左分支，黑白的利益差為 $k+X_{odd}-(x_1+X_{even})$。這個結論便得出下面的定理：

定理 4-1.在本劫中，若雙方都是最佳進行，且 $k+X_{odd}>x_1+X_{even}$，則勝劫的一方能從劫爭獲取的最大利益為 $k+X_{odd}-(x_1+X_{even})$。

証明：

前面我們已經得到黑方從劫爭所能獲取的最大利益為 $k+X_{odd}-(x_1+X_{even})$。同理，流程圖 4.3(c)中黑下 x_1 換取輸劫黑白利益差為 $x_1+X_{even}-(k+X_{odd})$，即白方(勝劫的一方)與輸劫的一方的利益差為 $k+X_{odd}-(x_1+X_{even})$。因此不論黑白雙方所能獲取的最大利益為 $k+X_{odd}-(x_1+X_{even})$。此定理得証。 ■

(丁)讓我們再次觀察黑方勝劫的情況，依據上面的定理找出黑棋勝劫時的劫材分布，來求出雙方的「劫材價值下限」。目前的已知條件只有「本劫的打劫條件」，即 $k+X_{odd} \geqq x_1+X_{even}$，因此圖 4.3(b)黑方勝劫的流程圖中，左分支的黑白利益差 $k+X_{odd}-(x_1+X_{even}) \geqq 0$。

(1)根據定理，黑方所能獲取的最大利益為 $k+X_{odd}-(x_1+X_{even})$，因此讓我們先考慮能得到最大利益的情況。要獲取最大利益 $k+X_{odd}-(x_1+X_{even})$，就要讓白方走到圖 4.3(b)中的左分支，根據 Minimax 搜尋的原則，在黑下 b_i 後白方選擇應劫或消劫當中，必須選擇 MIN，也就是黑白利益差較小的一

邊。換言之，在右分支的利益差大於左分支的情況下，白方若按最佳進行會選擇左分支，如果一來我們就可以如願以償的獲取最大利益 $k+X_{odd}$ - (x_1+X_{even})。接著利用 Minimax 搜尋的原則接著往上層 bottom-up 計算，每次黑方找劫材 b_i，都必須讓右分支的利益差大於或等於左分支(取 MIN)，因此，我們得到這種情況下黑方的「劫材價值下限」為 $2(k+X_{odd}-X_{even})$ ： $b_i+X_{even}-(k+x_1+X_{odd})\geqq k+X_{odd}-(x_1+X_{even}) \Rightarrow b_i\geqq 2(k+X_{odd}-X_{even})$。接著求白方的「劫材價值下限」。從 4.3(b)用 Minimax 搜尋原則往上層 bottom-up 計算時，由於白方每次找劫材黑方會選擇 MAX，所以白方選擇的劫材 w_i 只需要讓右分支的利益差小於左分支，我方就必須選擇左邊才能獲取最大利益。因此，我們得到這種情況下白方的「劫材價值下限」為 $2x_1+1$ ：
$k+x_1+X_{odd}-(w_i+X_{even})\leqq$
$k+X_{odd}-(x_1+X_{even})-1 \Rightarrow w_i\geqq 2x_1+1$

(2)其次，我們考慮黑無法獲取最大利益 $k+X_{odd}-(x_1+X_{even})$，卻能獲取介於 0 到 $k+X_{odd}$ - (x_1+X_{even})某個數的利益的情況。若黑方能獲取 $k+X_{odd}-(x_1+X_{even})-1$ 的利益，黑白雙方的「劫材價值下限」求法同(1)：

$b_i+X_{even}-(k+x_1+X_{odd})\geqq k+X_{odd}-(x_1+X_{even})-1 \Rightarrow b_i\geqq[2(k+X_{odd}-X_{even})]-1$

$k+x_1+X_{odd}-(w_i+X_{even})\leqq$
$(k+X_{odd}-(x_1+X_{even})-1)-1 \Rightarrow w_i\geqq(2x_1+1)+1$

比較前一種情況，b_i與 w_i 範圍分別為前一個 b_i 與 w_i 減 1 與加 1。同理，能獲取 $k+X_{odd}-(x_1+X_{even})-2$ 利益的 b_i 與 w_i 範圍又是此種情況的 b_i 與 w_i 減 1 與加 1。因此我們可以依序求得能獲取 $k+X_{odd}-(x_1+X_{even}), k+X_{odd}-(x_1+X_{even})-1, k+X_{odd}-(x_1+X_{even})-2,\ldots,2,1,0$，利益的黑白雙方的「劫材價值下限」。在解題方法的劫材分布二，即是用迴圈依序從獲取 $k+X_{odd}-(x_1+X_{even})$到 0 的「劫材價值下限」來判斷黑方所能獲取的最大利益為何。

(3)黑方無法獲取 0 目以上利益的情況，就是用獲取 0 利益黑白雙方的「劫材價值下限」判斷雙方劫材數時，黑方劫材少於白方。這就是解題方法中的劫材分布三。

II.交換劫材與減少損失

當雙方的劫材分布情況是劫材分布三時，表示黑方一定會遭受 1 目或 1 目以上的損失，這時候就要想辦法將損失降到最低。此時黑方若有價值大於 BKTVL 的劫材，其價值又小於白於大於 WKTVL 的劫價，便可以交換劫材。舉例而言，假設黑方雙方經過「劫材價值下限」的檢查後，符合條件的劫材分別如下：

B=(25,30,40,60)
W=(42,45,50,55,80)

黑方 B 中的最小的劫材價值為 25 目，白方則為 42 目，既然 25 比 42 小，這時候交換就有利了，並且白方非換不可，因為若按照最佳下法，白方不得不回應我方符合條件的劫材。黑方用 25 目的劫材，白方接著用 42 目的劫材，接著黑方又發現 30 目的劫材小於白方 45 目的劫材，於是再度交換，一直交換到黑方的符合條件的最小劫材價值大於白方的為止，結果如下：

B=(60)；W=(55,80)

考慮將來可能發生的另一場劫爭，假設兩場劫爭的途中雙方的劫材都沒有增加，BKTVL 與 WKTVL 皆為 45，結果在將來這場劫爭原本符合條件的劫材，黑白雙方各有 1 個與 4 個，相差 3 個劫材，然而經過黑方在前一場劫爭交換劫材後，雙方變成各有 1 個與 2 個，變成相差 1 個劫材。由此可知交換劫材的策略對黑方是有好處的。

在交換完劫材，就轉而選擇有價值棋步中最大的 x_1 或不符合條件的劫材中最大的 b_u，看哪一種下法損失比較小。根據流程圖 4.3(a)，黑方選擇 x_1 與 b_u，白方消劫後的利益差分別為 $x_1+X_{even}-(k+X_{odd})$與 $b_u+X_{even}-(k+x_1+X_{odd})$，黑方的最佳選擇是選擇利益差較大的一邊下。

另外在白方找劫材時，如果白方下的劫材是不符合條件的劫材，則是一種失誤，黑方消劫即可。如果是符合條件的劫材，我們可以比較此刻消劫後的利益差與黑方在選擇 x_1 與 b_u 時較大的那一個利益差，來選擇利益差較大的下法。換句話說，即是比較 $\max(x_1+X_{even}-(k+X_{odd}), b_u+X_{even}-(k+x_1+X_{odd}))$ 與 $k+x_1+X_{odd}-(w_i+X_{even})$。

III.有價值棋步的循環

打劫過程中，有價值棋步的循環，通常是劫材少的一方佔取有價值棋步換劫時，劫材多的一方仗著劫材多而搶佔有價值棋步，等到劫材少的一方提劫後，劫材多的一方再找劫材將劫提回來。在我們的解題方法中，倘若黑方劫材多，黑方並沒有搶佔有價值棋步，而選擇消劫，在這裏有一個策略的分歧點，關鍵的點是有時候有價值的棋步會增加劫材，也就是所謂的「製造劫材」。在圍棋對局中，劫材少的

一方有時會藉著佔取有價值的棋步製造劫材。最完美的情況是，程式有能力檢查白方下的有價值棋步會不會增加劫材，若不會增加劫材，則我方大可仗著劫材多而繼續搶佔有價值的棋步，等白方提劫，再找劫材即可。然而判別有價值棋步被下了以後會不會增加劫材的搜尋深度通常很深，複雜度很高，因此我們的演算法選擇消劫。倘若已經有判別有價值棋步會不會增加劫材的機制，則在我方劫材多的情況下，可以選擇搶佔大棋。

五、結論與未來研究方向

本論文中，我們展開整個本劫打劫的流程，利用 Minimax 搜尋的原則，在預設擁有各種需要的盤面資訊下，求出在目前盤面的情況下最佳的打劫策略，巨觀的探討了本劫的打劫策略，使電腦圍棋程式在處理本劫時，能在局部求得獲利最大或損失最小的下法。我們利用 Rule 判斷的方式決定下一步，大大降低了搜尋所需的時間。並且也詳細探討了劫材的使用策略，將之納入我們的演算法中。

如果不納入損劫，我們幾乎已經完全解決本劫的打劫問題，接下來的首要課題便是損劫的處理。只要在打劫問題中考慮損劫，整個問題便複雜許多。如果按照圍棋對局常理，損劫是其他劫材都用完後才開始用，並且從損失最小的用到損失最大的，不過目前為止這並未被嚴謹的證明。

除了損劫之外，未來的研究方向是探討其他劫爭(同時多個劫爭、三劫、寬氣劫、二段劫與三段劫、萬年劫等)的策略，並且可以回溯到打劫的上一層探討作劫，所得的結果能為電腦圍棋程式在全局或局部搜尋時所利用。圍棋中的「擴大劫爭」也是一個有趣且值得討論的問題。而種種基礎工作，諸如判別劫爭的種類、判別劫材與計算棋步的價值等，不但是電腦圍棋程式會不會打劫的主要關鍵，也是未來圍棋程式棋力能否向上提升的重要基礎。

參考文獻

[1]中國圍棋史話, http://shy.taiwango.org/article/china_go/china_go.htm

[2]日本近代圍棋通史, http://shy.taiwango.org/article/history/history.htm

[3]吳震坤,"*電腦詰棋程式中處理劫爭問題之研究*" ,國立台灣大學資訊工程研究所,碩士論文,2001.

[4]D. Lefkovitz, "*A strategic pattern recognition program for the game of Go*",University of Pennsylvania, the Moore school of Electrical Engineering, Wright Air Development Division, Technical note 60-243,1-92, 1960.

[5]Zobrist, A. L,"*A Model of Visual Organization for the Game of Go*", Proc. AFIPS 1969 Spring Joint Computer Conf. 34 (Boston, Mass., May 14-16, 1969), 103-112. AFIPS Press, Montvale, NJ, 1969.

[6]顏士淨,"*電腦圍棋程式 Jimmy 5.0 之設計與製作*",國立台灣大學資訊工程研究所,博士論文,1999.

[7]S.C. Hsu, J.C. Yan, and H. Chang."*Design and implementation of a computer Go program Archimage 1.1*". Journal of Information Science and Engineering 10, pages 239--258, 1994.

[8]Allis, V., "*Searching for solutions in games and artificial intelligence*". phD thesis, University of Limburg, Maastricht, 1994.

[9]Lichtenstein. D.and Sipser. M.,"*GO is Polynomial-Space Hard*", Journal ACM 27, 2 (April 1980), 393-401. (Also: IEEE Symp. on Foundations of Computer Science, (1978), 48-54).

[10]Mick Resis, http://www.reiss.demon.co.uk/webgo/compgo.htm.

[11]陳志行,http://www.wulu.com/.

[12]Elwyn Berlekamp, and YoungHoan Kim."*Where is the Thousand-Dollar ko?*".Games of No Chance, MSRI Publications Volume 29,1996.

[13]John H. Conway."*On Numbers and Games*". Adademic Press, London/New York,1976.

[14]村島誼紀,《*劫爭辭典*》,理藝出版社,1997.

[15]林海峰,《*打劫之魔力*》,理藝出版社,1997.

[16]大竹英雄,《*官子入門*》,世界文物出版社.

[17]應昌期圍棋教育基金會,《*計點制圍棋規則*》,1995 年版.

[18]日本棋院,《*日本圍棋規則*》,1989.