كلية الهندسة
قسم الهندسة المعلوماتية

مقرر خوارزميات بحث ذكية

د. غزوان علي ريّا

محاضرات الأسبوع الثامن
الفصل الأول 2024–2025

الخوارزميات المستخدمة في نظرية الألعاب (الألعاب الثنائية)

خوارزمية MiniMax

خوارزمية ألفا-بيتا Alpha-Beta

قمنا في المحاضرات السابقة بمناقشة عدة مسائل كان لها ميزة وهي أننا نبدأ من عقدة وننتقل منها لبقية العقد وكان عدد العقد في هذه المسائل يتعلق بطبيعة المسألة وكانت شجرة البحث يتم بناؤها حسب الخوارزمية التي تحدد آلية الانتقال في العقد، وهذه المسائل كانت مسائل ألعاب فردية فكانت كل عقدة تملك عدة معلومات مثلاً القيمة value وال action الذي أدى للوصول لهذه العقدة وأحياناً كنا نحتفظ بمسار (لمعرفة أب العقدة) من أجل عملية ال Backtracking.

بينما في الألعاب الثنائية مثلاً لا يمكننا إجبار الخصم في المرور بطريق ما في الشجرة وأي حركة من الخصم تؤدي لإزالة عدة طرق وهو أمر طبيعي ففي حال الألعاب التنافسية سيحاول كل لاعب سلك الطريق الذي يحقق له أكبر إفادة ويحاول أن يمنع اللاعب المقابل عن سلوك الطريق الذي يفيد الخصم، بالتالي ليس بالضرورة أن يكون ممكناً أن ننتقل بالطريق الذي يحقق لنا أكبر فائدة.

الألعاب:

يمكن تقسيم الألعاب حسب طبيعتها إلى:

حظ	تخطيط	
طاولة زهر	شطرنج	معلوماتها مؤكدة
الشدة	السفن الحربية	معلوماتها غير مؤكدة

ألعاب تخطيط: والتي ليس للحظ أي دور فيها.

ألعاب حظ: والتي يلعب الحظ دوراً فيها (مثل عندما نقوم برمي قطعة نرد).

ألعاب معلوماتها مؤكدة: يكون اللاعبين على معرفة تامة بحالة اللاعب المقابل (كما في الشطرنج).

ألعاب معلوماتها غير مؤكدة: يكون اللاعبين على جهل بحالة اللاعب الآخر.

فمثلاً الشطرنج هي لعبة تخطيط معلوماتها مؤكدة لأنها تعتمد على التفكير وخسارة أو ربح اللاعب تتعلق بأفعاله وفي رقعة الشطرنج حالة الخصم واضحة،

بينما في طاولة الزهر بالرغم من أن الرقعة واضحة لكلا اللاعبين إلا أن عملية رمي النرد تعطي للعبة طابعاً عشوائياً حيث يمكن أن ترتبط الخسارة أو الربح أحياناً بأن شخصاً صادفه الحظ،

لعبة السفن الحربية حيث يخفي اللاعبين سفنهم ويقومون بوضعها بأشكال هندسية معينة تتطلب قدراً كبيراً من التخطيط واستبعاد الأشكال الغير محتملة فبالرغم من أن رقعة اللاعب ليست واضحة للخصم إلا أنها تتطلب إستراتيجية كبيرة،

ولعبة الشدة (أوراق اللعب) كما نعلم متعلقة بالحظ بشكل كبير والأوراق تكون مخفية عن بقية اللاعبين.

قد يكون البيان الممثل لفضاء الحالة ضمني implicit، أو صريح، أحد الأمثلة على مسألة بيانها صريح هي مسألة البائع المتجول، بينما مسألتي أبراج هانوي وأوعية الماء بيانهما ضمني.

بعض المسائل يمكن أن تكون نهايتها وحيدة، أي أن النهاية التي تمثل حالة الربح هي حالة وحيدة فمثلاً في أوعية الماء حيث نملك 3 أواع سعتهم 8,5,3 على الترتيب إن قلنا أن حالة النهاية هي 4,4,0 فهذه حالة نهاية وحيدة.

بينما إن قلنا أن حالة النهاية هي إن احتوى أحد الأوعية على 4 لتر فيصبح هناك عدة حالات نهاية مثلاً 4,4,0 أو 4,3,1 أو 4,1,3 أو 4,2,2 أو 2,4,2 أو .... إلخ.

ففي أبراج هانوي النهاية هي نهاية وحيدة (أن تكون جميع الأقراص في العمود الأخير) بينما في لعبة X/O النهاية غير وحيدة حيث أنه يمكن أن نربح إن كان كل العمود الأول من نفس رمزنا أو كل العمود الثاني أو كل السطر الأول أو أحد الأقطار .... إلخ.

ففي خوارزميات البحث في الألعاب التنافسية ننشئ شجرة للألعاب من أجل كل جولة فهذه الخوارزميات هي طرق تحدد أفضل خطوة لعب وليست للوصول لحل فعلي لأنه لا يمكن توقع حركات الخصم ولكن من الممكن حصره في حالة لا يمكن أن يقوم بغيرها.

فنقوم بدراسة كل الطرق الممكنة لنبحث عن أفضل خطوة لعب حيث نحقق أفضل ربح أو أقل خسارة وخاصة في حالات حيث يمكن أن يربح اللاعب فيها 10 نقاط مثلاً أو يخسر 8 نقاط مثلاً.

فهذه الخوارزميات هي خوارزميات للقرار وليس بالضرورة أن يقرر الخصم أفضل طريق فالخصم سيقوم بدوره ببناء شجرة له (حيث أن الخسارة بالنسبة لنا هي ربح بالنسبة له).

أي أنه في ألعاب الطرفين يؤثر الخصم في الإستراتيجية ويقوم بتغييرها.

خوارزمية MiniMax:

هي خوارزمية مضبوطة للاعبين فقط، ومرهونة بربح أو خسارة فقط، نبدأ ببناء الشجرة من الحالة الراهنة ويجب أن نعرف إن كانت الحالة الراهنة للاعب (لنا وبالتالي نبدأ ب max) أو للخصم (في حال كانت للخصم نبدأ ب min).

نقوم أولاً بوضع كل خيارات اللعب، ونبني شجرة اللاعب الذي يمثل طرفنا ثم نرسم حركات الخصم حتى نصل للأوراق، ثم في النهاية نقيّم الأوراق (نعطيها قيماً).

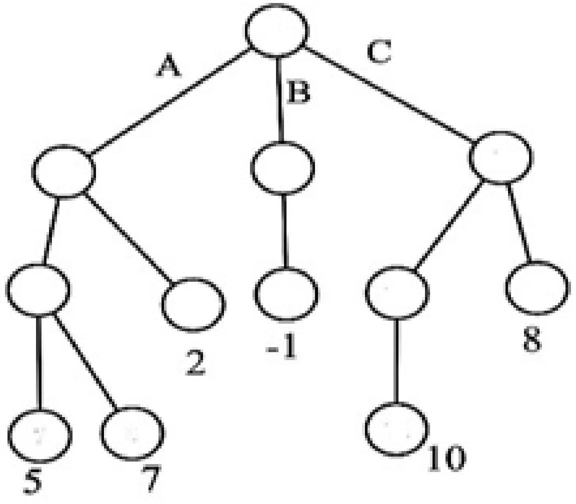
في الامتحان قد يطلب رسم شجرة اللعب أو قد تأتي شجرة مرسومة نقوم بالتطبيق عليها. **بعد تقييم الأوراق نقسم المستويات** فإن كان اللاعب يلعب أولاً نبدأ ب max ثم min ثم max ثم min ثم .... وهكذا، بينما في حال الخصم يلعب أولاً نبدأ ب min ثم max ثم min ثم max .... وهكذا.

ففي طور ال max نختار العقدة التي تحقق أكبر ربح للاعب (لنا)، بينما في طور ال min نختار العقد التي تحقق أقل ربح وأكبر خسارة للخصم.

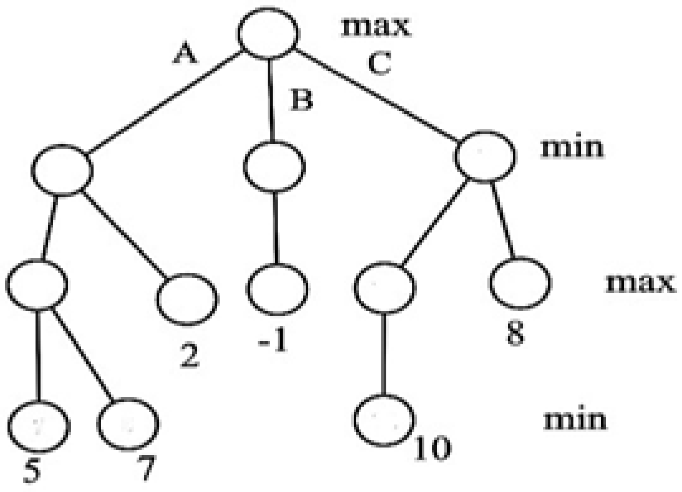
ودائماً نفترض أن خصمنا هو خصم قوي أي أنه سيقوم بأفضل خيار ممكن عندما يحين دوره ولن يجعلنا نربح أكبر ما يمكن (فمثلاً يمكن أن يضع لنا طُعماً فيكون أحد الطرق يحقق لنا ربحاً كبيراً ولكن يقود هذا الطريق بالنسبة لنا لنهاية مسدودة نخسر بها).

عند تطبيق خوارزمية Minimax نحسب عند كل مستوى max القيمة α لكل عقدة ونهيئها $\alpha = -\infty$ وعند كل مستوى Min نحسب قيمة β لكل عقدة ونهيئها $\beta = \infty$.

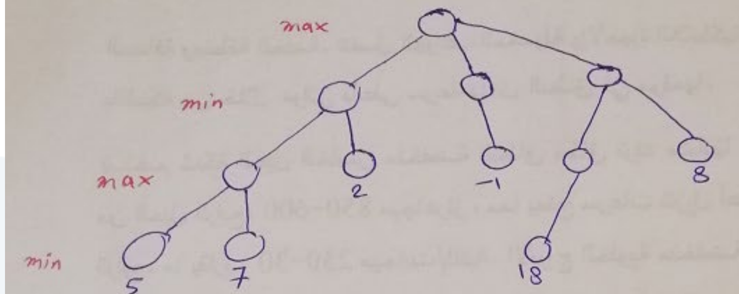
مثال: طبق خوارزمية Minimax على البيان التالي علماً أن اللاعب يلعب أولاً.



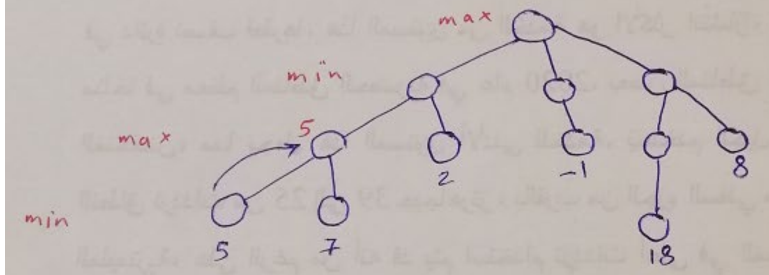
الخطوة الأولى: بما أن اللاعب يلعب أولاً(وليس الخصم) نبدأ بتحديد المستويات ابتداءاً من الجذر الذي يأخذ مستوى max



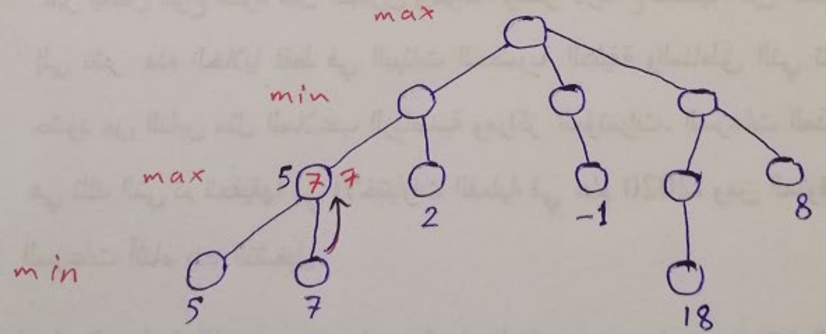
الخطوة الأولى: بما أن اللاعب يلعب أولاً (وليس الخصم) نبدأ بتحديد المستويات ابتداءً من الجذر (وأخذ مستوى max)



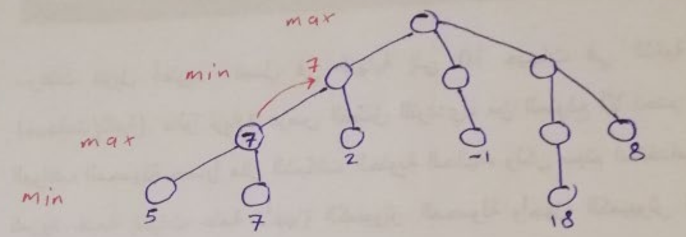
الخطوة الثانية: نبدأ من جذر الشجرة بالغوص لأعمق مستوى (من اليسار) لنجد ورقة قيمتها 5 نأخذها ونرجع للأعلى، وبما أن المستوى الأعلى هو max فنقارن بين $\alpha=-\infty$ و 5 فنجد $5>-\infty$ فنعطي α قيمة 5 $\boxed{\alpha=5}$



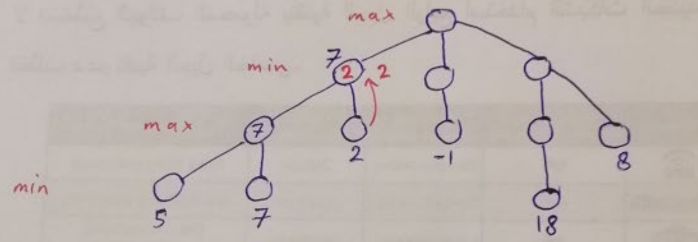
الخطوة الثالثة: ننتقل للورقة التالية التي قيمتها 7 (لأننا نتجول في شجرة البحث باستخدام استراتيجية البحث بالعمق أولاً DFS) نأخذها ونرجع إلى الأعلى ونقارنها مع $\alpha=5$ وبما أن $7>\alpha=5$ تصبح $\alpha=7$



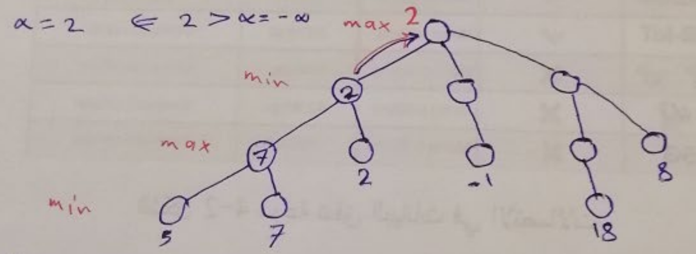
الخطوة الرابعة: ننتقل للمستوى الأعلى والذي هو min فنقارن 7 مع $\beta=\infty$
وبما أن $7 < \beta=\infty$ ⇐ $\beta=7$



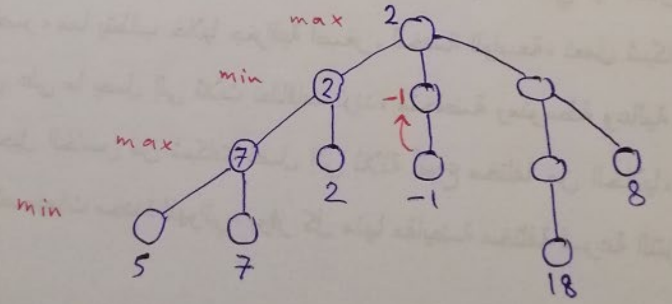
الخطوة الخامسة: ننتقل للورقة التالية التي قيمتها 2 نأخذها ونصعد بها إلى الأعلى
فنقارن بين $\beta=7$ و 2 وبما أن $2 < \beta=7$ ⇐ $\beta=2$



الخطوة السادسة: ننتقل الى المستوى الأعلى
$\alpha=2$ ⇐ $2 > \alpha=-\infty$

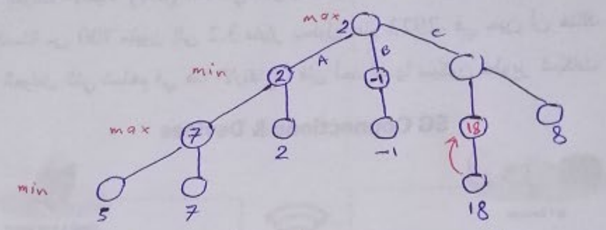


الخطوة السابعة: ننتقل إلى الفرع الثاني الى الورقة -1 فنأخذها ونصعد بها للأعلى
فنقارن بين $\beta=\infty$ و -1 وبما أن $-1 < \beta=\infty$ ⇐ $\beta=-1$

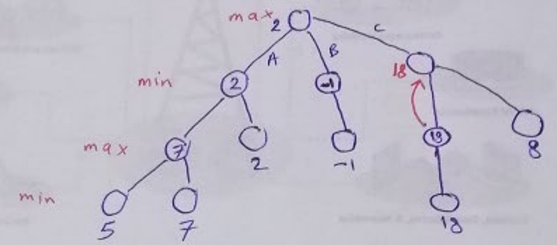


الخطوة الثامنة: ننتقل الى المستوى الأعلى نجد أنّ $\alpha=2 \Leftarrow -1 < \alpha=2$ لا نغيرها

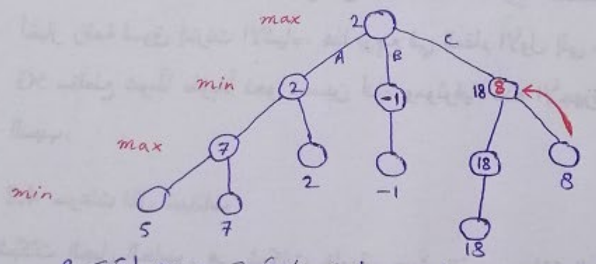
الخطوة التاسعة: ننتقل إلى الفرع الثالث ما قبل اليسار منه - لنبدأ من أعمق مستوى الورقة 18 نأخذها ونصعد بها للأعلى فنقارن بين $\alpha=-\infty$ و 18 نجد $\alpha=18 \Leftarrow 18 > \alpha=-\infty$



الخطوة العاشرة: ننتقل للمستوى الأعلى نقارن بين $\beta=\infty$ و 18 نجد $\beta=18 \Leftarrow 18 < \beta=\infty$



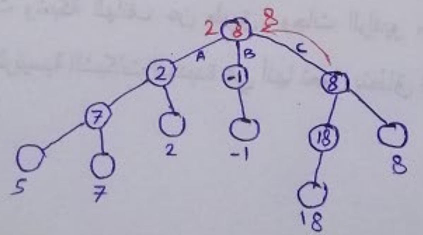
الخطوة الحادية عشرة ننتقل الى الورقة التالية قيمتها 8 نأخذها ننتقل بها للأعلى نقارن $\beta=8 \Leftarrow 8 > \beta=18$



الخطوة الثانية عشرة: ننتقل للمستوى الأعلى لنقارن بين قيمة $\alpha=2$ والقيمة 8

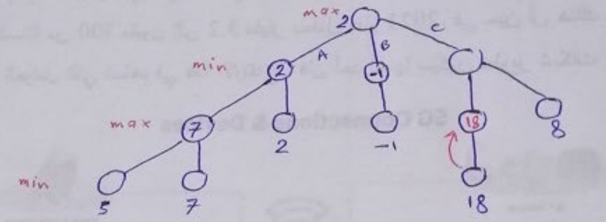
$\alpha=8 \Leftarrow 8 > \alpha=2$

وبالتالي نختار الطريق C

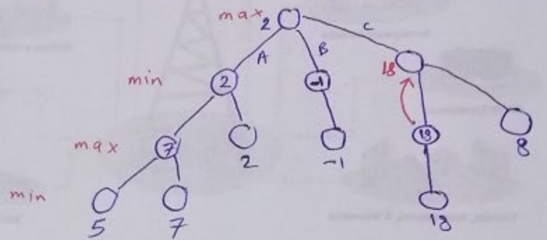


الخطوة الثامنة: ننتقل الى المستوى الاعلى بعد أن $\alpha = 2 \Leftarrow -1 < \alpha = 2$ لا نغيرها

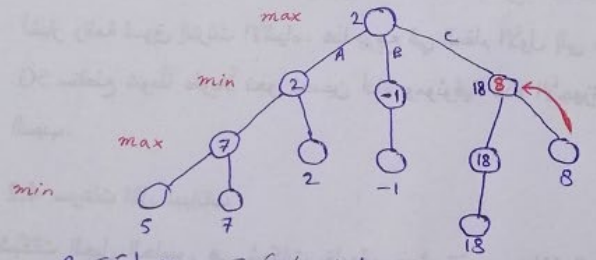
الخطوة التاسعة: ننتقل إلى الفرع الثالث من قصى اليسار منه - لنبدأ في أعمق مستوى الورقة 18 نأخذها ونصعد بها للأعلى فنقارن بين $\alpha = -\infty$ و 18 نجد $\alpha = -\infty < 18 \Leftarrow \alpha = 18$



الخطوة العاشرة: ننتقل للمستوى الأعلى نقارن بين $\beta = \infty$ و 18 نجد $\beta = \infty > 18 \Leftarrow \beta = 18$



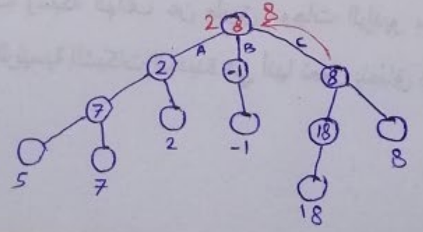
الخطوة الحادية عشرة ننتقل الى الورقة التالية قيمتها 8 نأخذها وننتقل بها للأعلى نقارن $\beta = 18 > 8 \Leftarrow \beta = 8$



الخطوة الثانية عشرة: ننتقل للمستوى الاعلى لنقارن بين قيمة $\alpha = 2$ والقيمة 8

$\alpha = 2 < 8 \Leftarrow \alpha = 8$

وبالتالي نختار الطريق C



نبدأ في ثاني خطوة من جذر الشجرة بالغوص لأعمق مستوى (من اليسار) لنجد الورقة التي قيمتها 5 نأخذها ونتجه بها الى الأعلى وبما أن المستوى الأعلى هو max فنقارن بين $-\infty = \alpha$ و5 فنلاحظ أن $-\infty = \alpha > 5$ فنعطي α قيمة 5 أي $\alpha = 5$

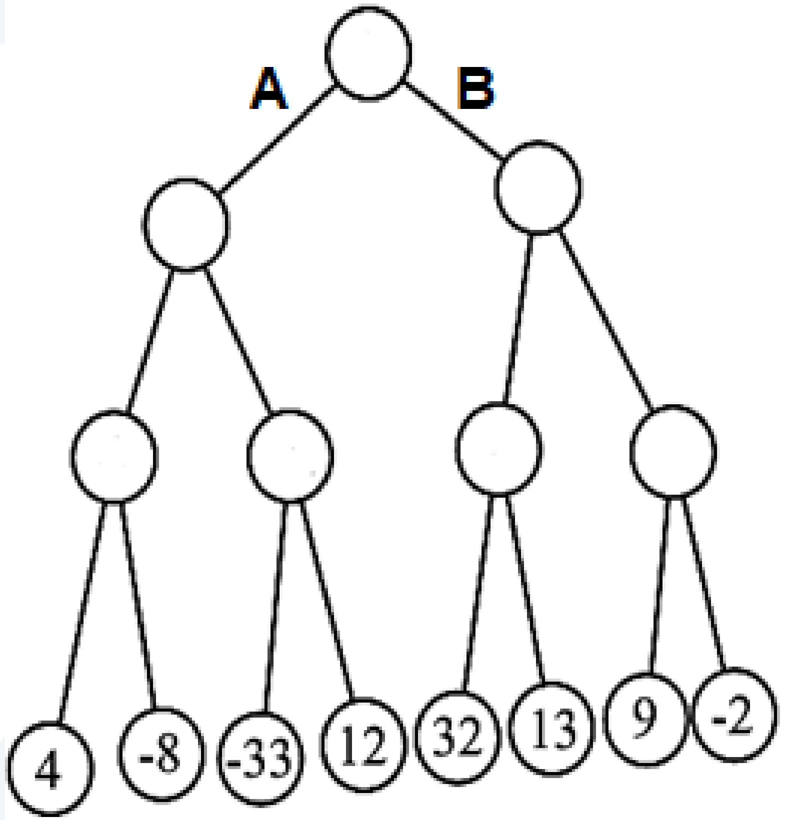
ثم ننتقل للورقة التالية التي قيمتها 7 (نحن نتجول في شجرة البحث باستخدام استراتيجية البحث بالعمق أولاً DFS) نأخذها ونتجه بها الى الأعلى ونقارنها مع $\alpha = 5$ وبما أن $5 = \alpha > 7$ تصبح $\alpha = 7$

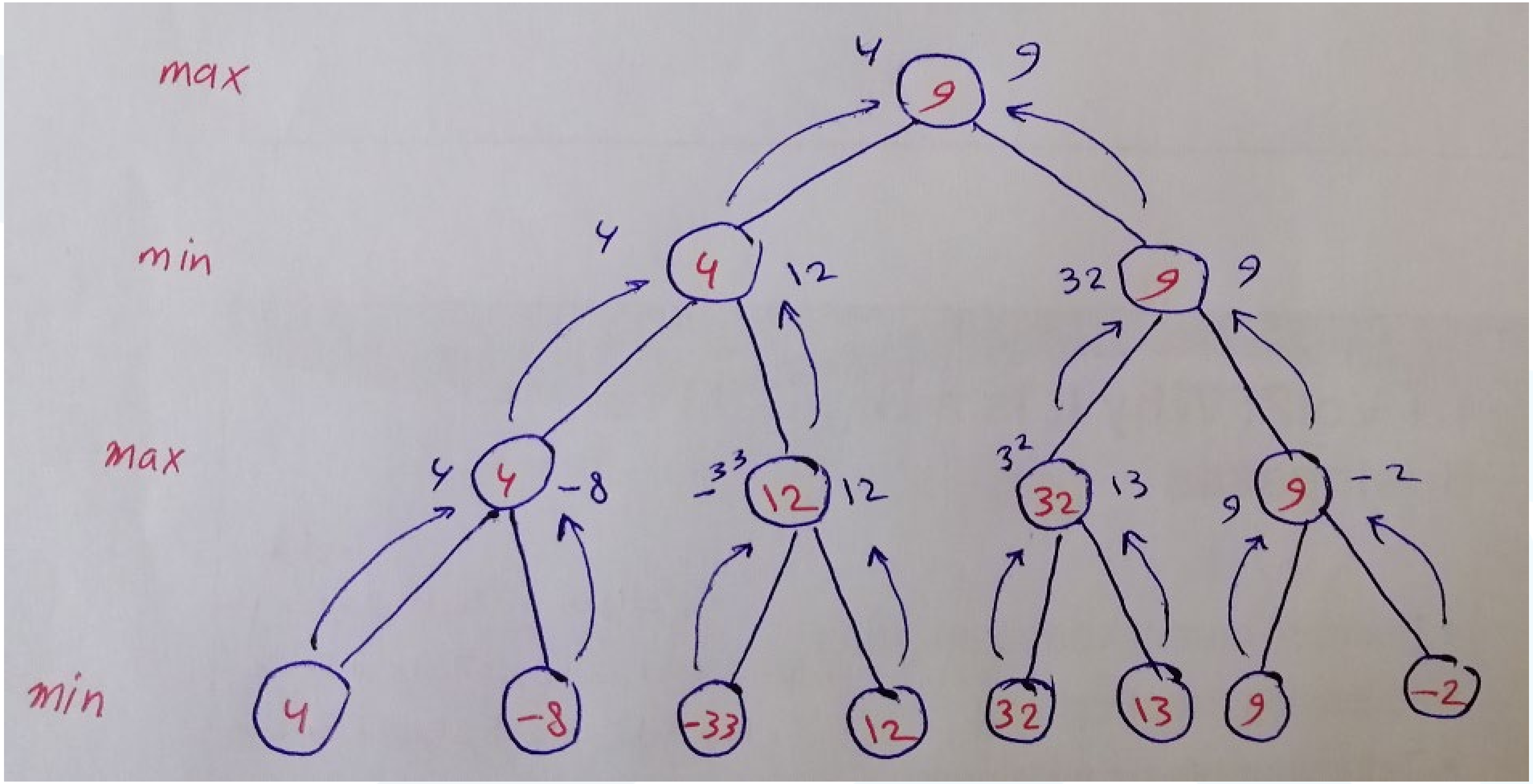
ثم ننتقل للمستوى السابق والذي هو min فنقارن بين $\beta = \infty$ و7 وبما أن $\infty = \beta < 7$ تصبح $\beta = 7$

ثم ننتقل للورقة التالية التي قيمتها 2 نأخذها ونتجه بها الى الأعلى فنقارن بين $\beta = 7$ و2 وبما أن $2 > \beta = 7$ تصبح $\beta = 2$ ونكمل حتى نصل لأول مستوى، مع الملاحظة أنه في المستوى الأخير عندما كانت قيمة $\alpha = 2$ ولم يتحقق شرط المقارنة (حيث أن 1- أصغر من 2) حافظنا على قيمة α ولم نغيرها أي أننا نغير قيمتي α و β فقط في حال تحقق الشرط، في هذه الشجرة سنختار الطريق C لأن قيمة $\alpha = 8$.

مسألة 1:

طبق minimax على الشجرة التالية علماً أن اللاعب يلعب أولاً.



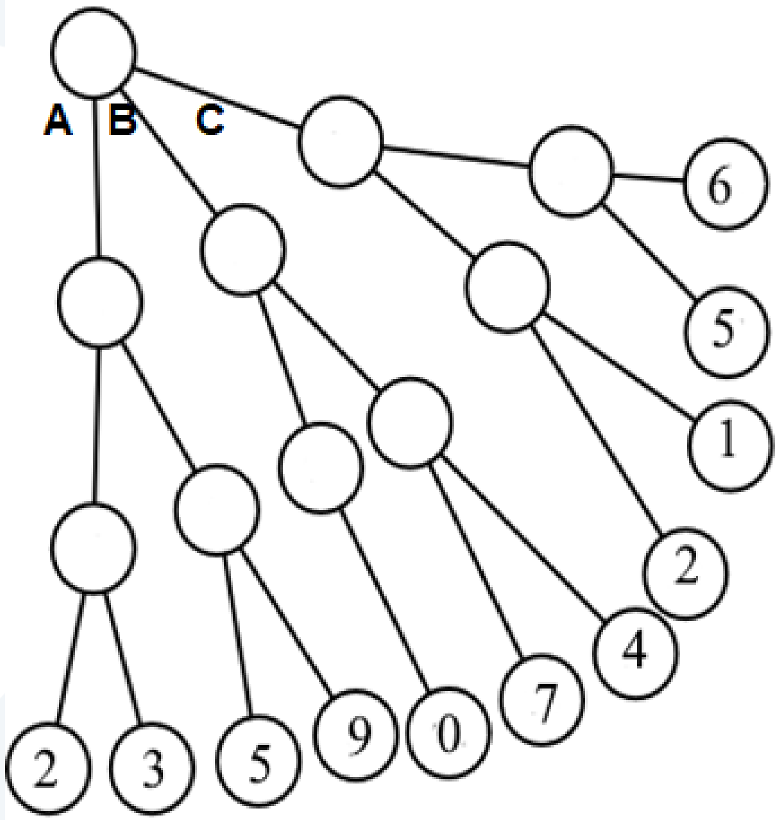


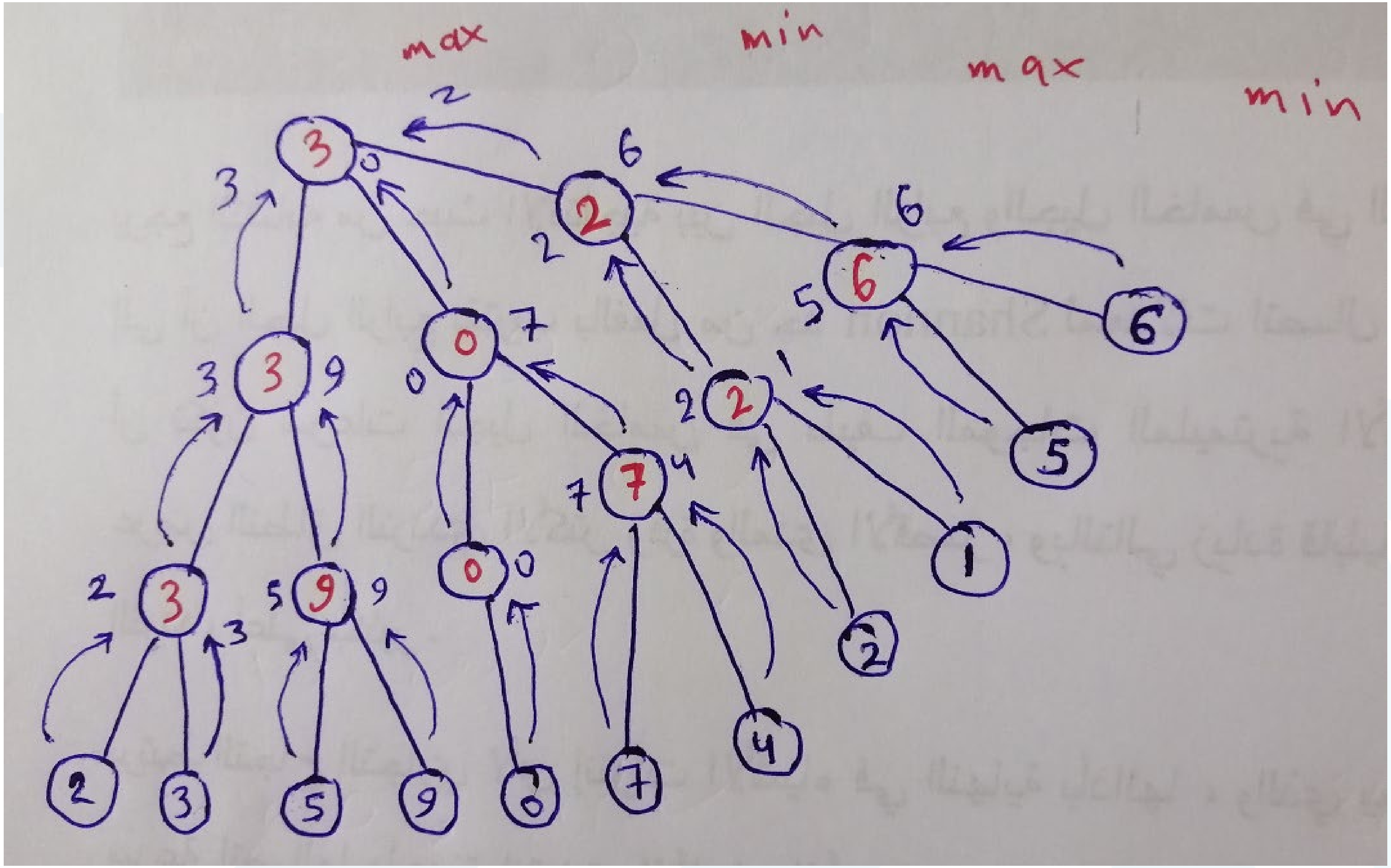
نستنتج أنه لكي يحقق اللاعب الفوز يجب أن تكون خطوته التالية باتجاه الفرع B

مسألة 2:

طبق minimax على الشجرة التالية علماً أن اللاعب يلعب أولاً.

ملاحظة: في حال لم يتم ذكر من يلعب أولاً في نص المسألة نعتبر أن اللاعب هو من سيلعب أولاً.





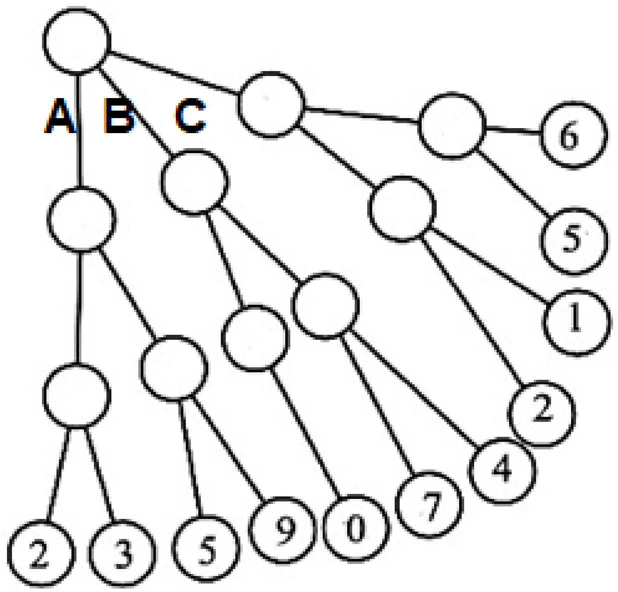
نستنتج أنه لكي يحقق اللاعب الفوز يجب أن تكون خطوته التالية باتجاه الفرع A

خوارزمية ألفا–بيتا Alpha–Beta

تمتاز خوارزمية ألفا–بيتا عن Minimax بأنها تقوم بتقليم الأشجار (عملية القطع) في حال تحقق الشرط الآتي:

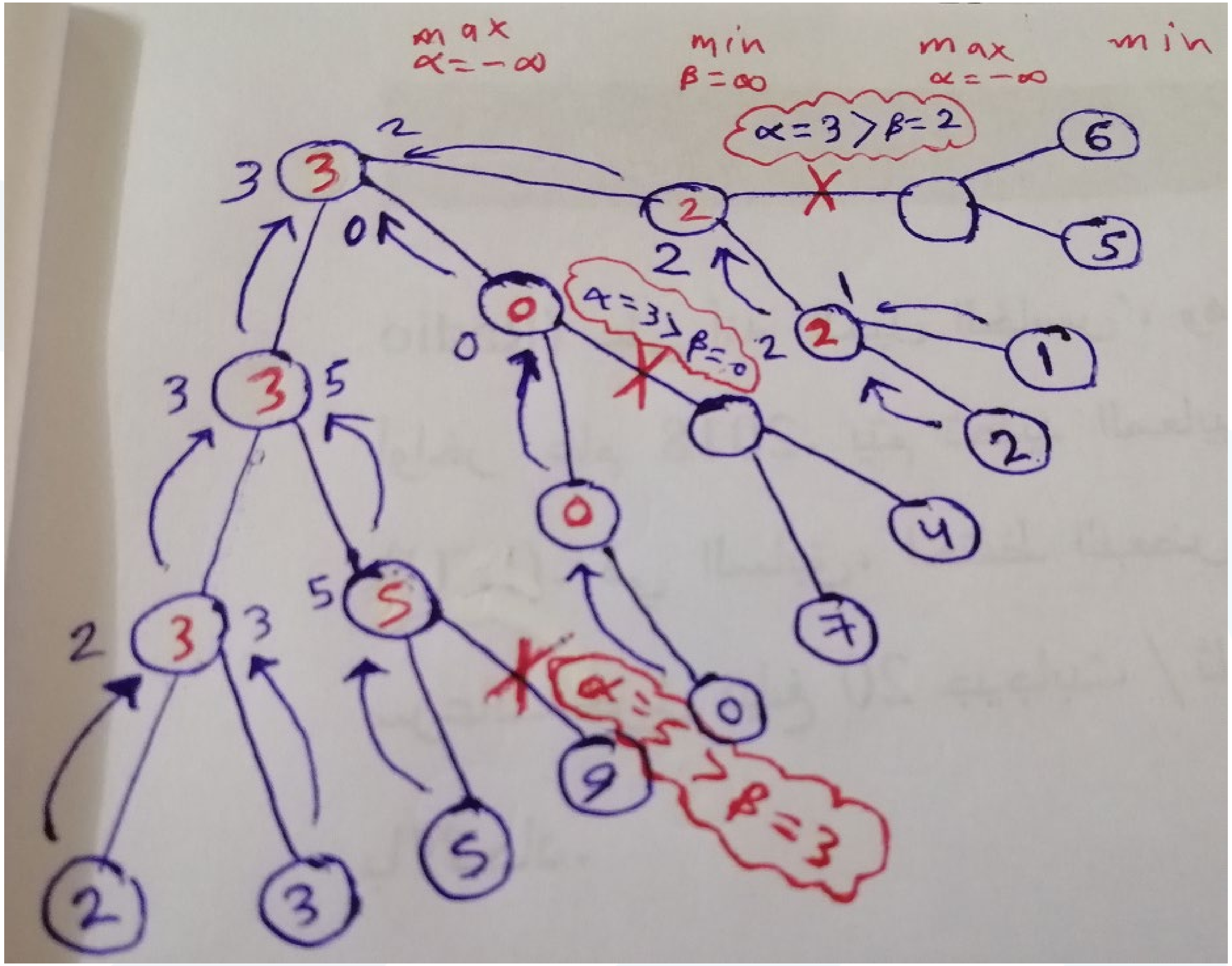
$$\beta \leq \alpha \text{ أو } \alpha \geq \beta$$

وفي هذه الخوارزمية لا يمكن النزول للابن قبل التأكد من الأب.



مثال:

طبق خوارزمية ألفا–بيتا على البيان السابق



نستنتج أنه لكي يحقق اللاعب الفوز يجب أن تكون خطوته التالية باتجاه الفرع A

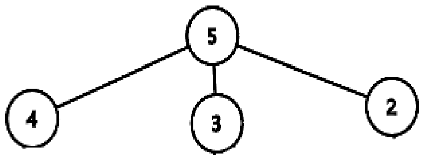
نلاحظ أننا عند ننتقل للورقة التي قيمتها 5 فنسندها للأب ونقوم بمقارنة الأب مع أبيه

$\alpha = 5 \geq \beta = 3$ (بما أن ألفا بدأت 5 فأي قيمة ستأخذها هي أكبر أو تساوي 5 وبما أنها أكبر أو تساوي بيتا فمن المستحيل اختيارها في المستوى السابق بالتالي سنكون قد أضعنا وقتاً باختبار أبنائها) فنقوم بالقطع **بعد العقدة** كما في الشكل ونكرر الخطوات حتى ننتهي من الشجرة.

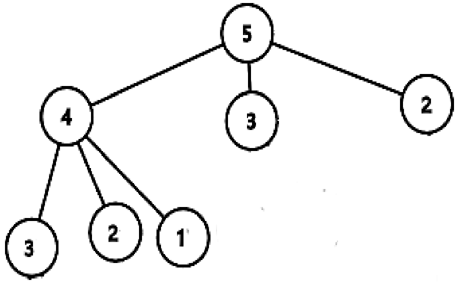
بما أن خوارزمية ألفا–بيتا تقلل عدد الطرق التي يجب دراستها فهي مفيدة وخاصة في الشطرنج.

مسألة شبيهة لما سيأتي في الامتحان:

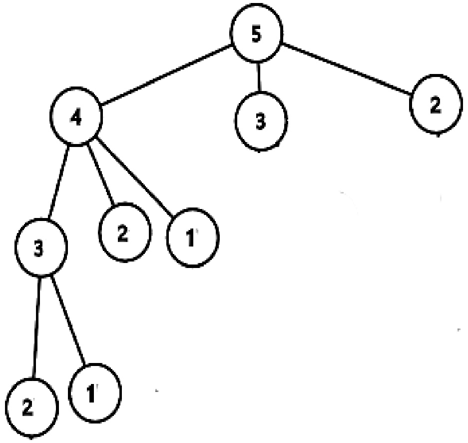
لدينا 5 أوراق شدة ولاعبان كل لاعب مسموح أن يسحب ورقة أو اثنتان أو ثلاث أوراق، اللاعب الذي يخسر هو اللاعب الذي يسحب آخر ورقة (نعطي الأوراق قيمة 1 عندما يربح اللاعب و-1 عندما يربح الخصم) قم ببناء شجرة اللعب علماً أن اللاعب هو من يلعب أولاً.



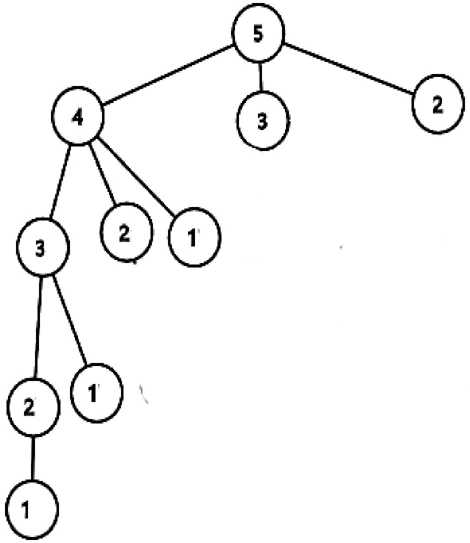
يمكن في البداية أن نسحب ورقة أو ورقتين أو ثلاثة
و بالتالي يبقى لدينا ٤ أو ٣ أو ٢ أوراق



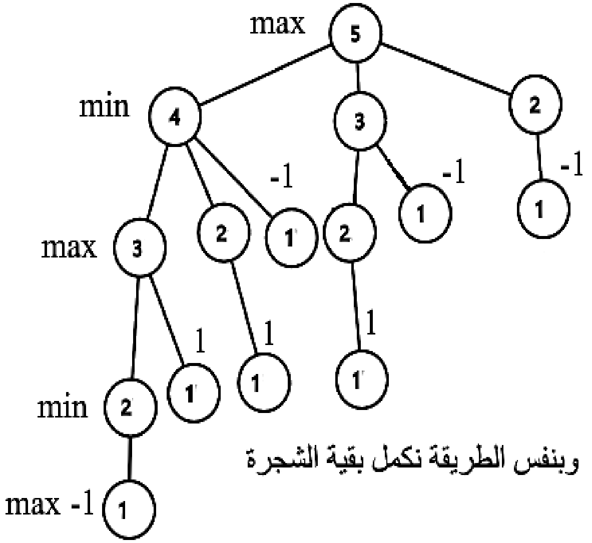
في حال كان هناك ٤ أوراق
يمكن أن نسحب ١ أو ٢ أو ٣
فيبقى لدينا ٣ أو ٢ أو ١ أوراق



في حال كان هناك ٣ أوراق سنسحب
إما ورقتين أو ورقة لأن سحب ٣ أوراق
يعني خسارة مباشرة



في حال كان هناك ٢ ورقتين
سنسحب ورقة فقط لأن سحب ورقتين
يعني خسارة مباشرة

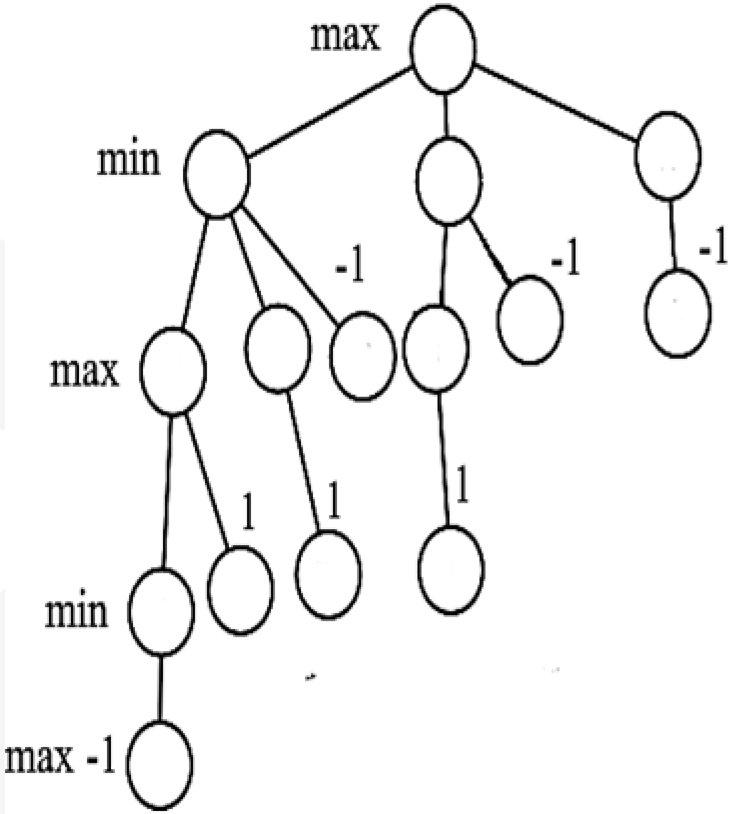


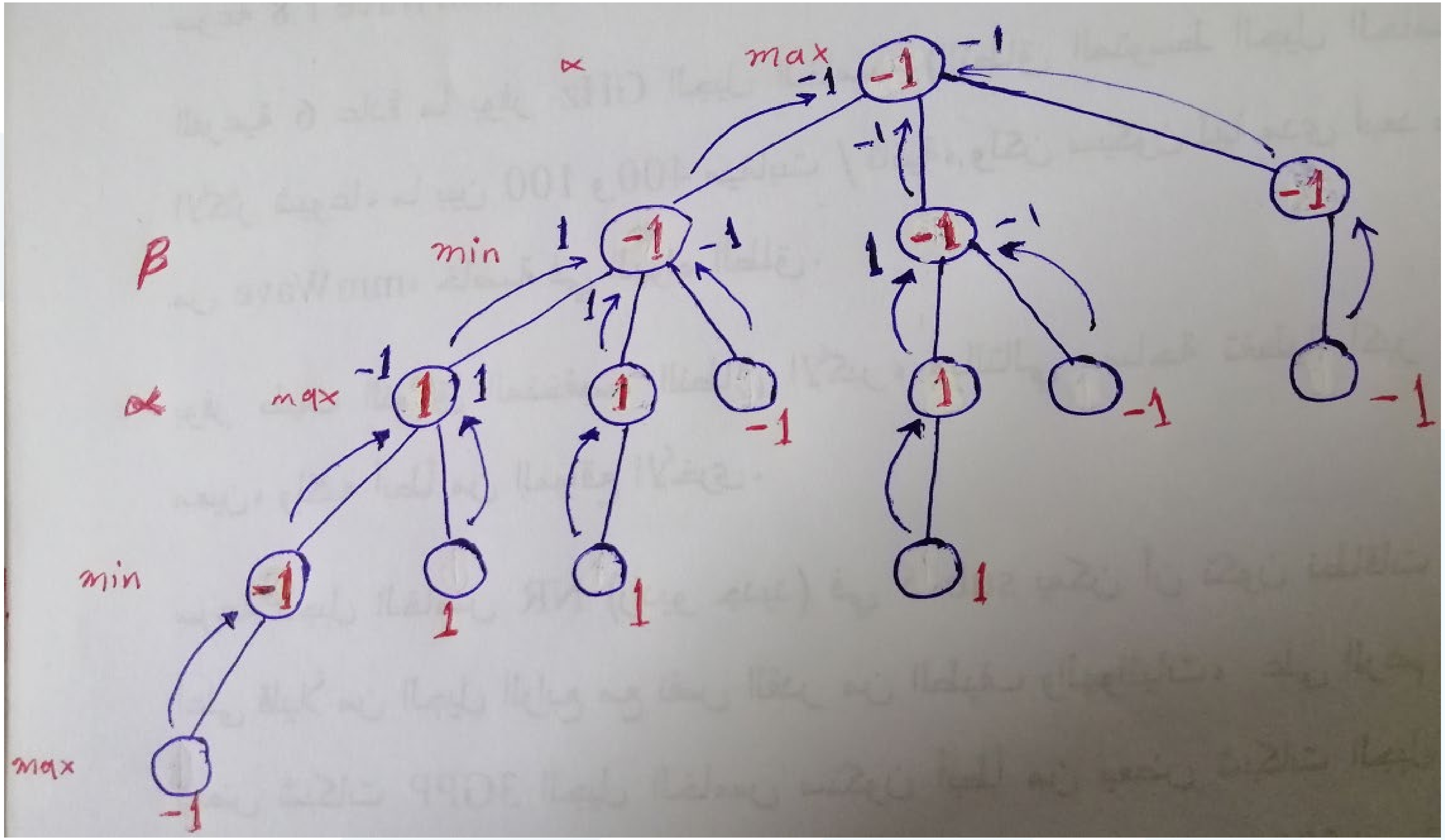
وبنفس الطريقة نكمل بقية الشجرة

نضع -١ عندما يكون هناك ورقة واحدة في جهة اللاعب لأن هذا يعني أنه حصرا سيسحب هذه الورقة(خسارة)
و نضع ١ عندما يكون هناك ورقة واحدة في جهة الخصم لأن هذا يعني أنه حصراً سيسحب هذه الورقة (فوز)

تطبيق خوارزمية ألفا بيتا

على الشجرة:





لا يوجد هنا قطع، وهذه اللعبة محتومة بالخسارة (لأن كل الخيارات -1) إلا في حال قام الخصم بخطأ (ولكن كما قلنا سابقاً في خوارزمية Minimax وألفا–بيتا نعتبر أن الخصم ماهر ولن يقوم بأخطاء).