نموذج لتمثيل المعرفـة والاستـدلال في نظم الذكاء الصنعي

عبد الرحمن الطحان[1] ومحمد جمال اللبن[1] ومحمد بسام الكردي[2]

[1] قسم الرياضيات ـ كلية العلوم ـ جامعة دمشق
[2] المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا

تاريـخ الإيداع 2003/06/28
قبل للنشـر في 2003/12/06

الملخص

في حقل الذكاء الصنعي، تعد هندسة المعرفة المرحلة الأهم من دورة حياة تطوير نظم قواعد المعرفة عموماً والنظم الخبيرة خصوصاً [1]. وقد سيطر المنطق الصوري بشكل عام وقاعدة الاسـتدلال الأولـى (مودس بوننس) بشكل خاص، على الأدوات المستخدمة لبناء هذه المعرفة [3]، مما أدى إلى تشكل فجوة بين مجالي المعرفة والمعلومات التي تعتمد في بنائها على نظرية المجموعات بشكل عام وعلـى الجبـر العلاقاتي بشكل خاص [1]. وسعياً في توفير أحد جسور استبدال المنطق بنظرية المجموعات فـي تمثيـل المعرفة ومعالجتها، فقد قمنا في هذا البحث بتأسيس نموذج لتمثيل المعرفة مبني علـى أسـس نظريـة المجموعات (العادية والترجيحية). واستفدنا من هذا البناء في تأسيس نموذج للاستدلال مبني على جبـر المجموعات، يقوم عبر المرور بسلسلة من المراحل وباستخدام مجموعة من العمليات الجبرية، بالتوصـل إلى حل للمسألة المدروسة بشكل مشابه لأسلوب الإنسان في التعامل معها، متوخين سرعة الأداء ودقـة النتائج بالقدر الذي يسمح به نوع المسائل الذي تتصدى له هذه النظم.

الكلمات المفتاحية: نظم قواعد المعرفة، هندسة المعرفة، الـنظم الخبيـرة، نمـوذج المعرفة، نموذج الاستدلال، المنطق الترجيحي، المقارنة، نظريـة المجموعات الجزئية الترجيحية، درجة انتماء، درجة أهمية، قاعدة الاستدلال الأولى، مسألة، حالـة مدروسـة، العناصـر البـسيطة للمعرفة، العناصر المركبة للمعرفة، عقد المعرفة.

A Model for Representing Knowledge and Inference in Artificial Intelligence Systems

A. Altahan[1] M. J. Laban[1] and M. B. Kurdy[2]

[1] Department of Mathmatics - Faculty of Sciences- Damascus University
[2]Higher Institute of applied sciences and Technology

Received 28/06/2003
Accepted 06/12/2003

ABSTRACT

In Artificial Intelligence field, Knowledge Engineering phase is considered the most crucial phase of the development life cycle of the Knowledge Base Systems [1]. In fact, Formal Logic in general and Modus Ponens specifically has been the dominant tools for structuring this knowledge [3]. This led for forming a gap between the knowledge area and the information area, which depends structurally on the Set Theory in general and on the Relational Algebra in particular [1]. Thus, trying to introduce a bridge to pass this gap in structuring and treating knowledge, we have conducted a new knowledge representation model that depends structurally on (Classical and Fuzzy) Set Theory. Then we used it as the base for conducting an inference model that attempt, using a set of algebraic operations and by going through a series of stages, to reach a solution of the problem under study, in a manner very close to the one that humans usually use in treating their knowledge, taking into consideration the speed and accuracy as much as the problem allows.

Key Words: Knowledge Base Systems, Knowledge Engineering, Expert Systems, Knowledge Model, Inference Model, Fuzzy Logic, Comparison, Fuzzy Subsets Theory, Membership Degree, Importance Degree, Modus Ponens, Problem, Studied State, Simple Knowledge Elements, Composite Knowledge Elements, Knowledge .Nodes

1 ـ نمـذجـة المعـرفـة

سنقوم في البداية بتأسيس النموذج المعرفي الذي ستتم هيكلة المعرفة ضمنه، ثم سننتقل لبناء النموذج الاستدلالي الذي يعمل على هذا النموذج المعرفي.

1-1- عناصر المعرفة البسيطة:

تتجزأ عادةً المعرفة إلى عدة عناصر تشكل وحدات البناء الضمني لهذه المعرفة، والتي بدورها قد تتوزع إلى عدة أنواع من العناصر. نسمي هذه العناصر بعناصر المعرفة الأولية أو البسيطة، وكمثال على هذه العناصر أعراض الأمراض[9]، والشروط الأساسية التي يبنى عليها قرار إصابة شخص بمرض ما أو منح قرض لجهة معينة.

1-2- المعرفة المركبة (عقد المعرفة):

عندما تتجمع مجموعة من عناصر المعرفة البسيطة ضمن وحدة متكاملة فإنها تشكل ما نسميه بالمعرفة المركبة أو العقدة المعرفية، حيث يشارك كل عنصر من عناصر المعرفة في بناء عقدة المعرفة بقدر وبتأثير معين يؤدي بالنتيجة إلى تحديد شخصية هذه العقدة المعرفية (المجموعة). ويمكننا تمثيل عقدة المعرفة A التي لها العناصر a,b,r,n,q,f بالشكل الآتي:

A

$$a+b,r+n,q+f$$

حيث وضعنا إشارة (+) بين العناصر من النوع نفسه وفصلنا نوعاً عن نوع من خلال إشارة (,).

1-3- الأهمية الترجيحية للعناصر:

عندما يكون من المناسب وصف المعرفة المركبة ضمن إطار ترجيحي، أي عندما تقع المعرفة ضمن وسط ترجيحي، فإنه يمكننا تمثيل تأثير كل عنصر في تحديد شخصية العقدة من خلال عدد يقع في المجال [0, 1] ليعبر عن أهمية الدور الذي يؤديه العنصر في تحديد وتشكيل العقدة المعرفية. وفي هذه الحالة نمثل العقد المعرفية بالشكل:

A

$$0.9a+0.8b,\ 1r+0.1n\ ,\ 0.6q+0.4f$$

حيث أرفقنا كل عنصر بدرجة أهميته بالشكل (أهمية العنصر. العنصر)

1-4- الأهمية التكرارية للعقدة المعرفية:

قد يتكرر, نتيجة لظروف معينة, ظهور عقد معرفية في مجتمع المعلومات أكثر مـن عقد أخرى, أي قد يتكرر تطابق الكثير من الحالات المدروسة مع عقدة معرفيـة معينـة أكثر من العقد الأخرى، كشيوع مرض معين أكثر من مرض آخر في مجتمع المرضـى نتيجةً للظروف البيئية المحيطة. في هذه الحالة يمكننا وصف هذه الناحية من المعرفة في إطار الترجيح من خلال عدد يقع في المجال [0,1] ليعبر عن الأهمية التكراريـة للعقـدة المعرفية.

ومن ثم يصبح تمثيل العقدة المعرفية بالشكل:

!Error **A**

$$(0.9a + 0.8b,\ 1r + 0.1n\ ,\ 0.6q + 0.4f)0.7$$

حيث 0.7 هي الأهمية التكرارية للعقدة A.

5-1- التشابك المعرفي وصفات العناصر:

في كثير من الأحيان قد يوجد عنصر معين في أكثر من عقدة معرفية، وقـد توجـد بعض العناصر في عقدة معرفية بصفات تختلف عن تلك التي توجد بها في عقدة معرفية أخرى. وفي الحقيقة فإن هذا التشابك بين المعارف، والذي كثيراً ما نواجهه في معارفنـا التي نستخدمها في شتى المجالات، قد يسبب التباساً في تمييز عقدة معرفية عن أخرى، إلا أنه إذا تم استغلاله بشكل مناسب، فيمكن أن يشكل بمساعدة صـفات العناصـر عـاملاً مساعداً في التمييز والتعامل مع المعارف بشكل أكثر دقةً وكفاءةً.

أما عن تمثيل عقد المعرفة فتصبح بالشكل الآتي:

!Error **A**

$$(0.9\eta a + 0.8\theta b\ ,\ 0.9r + 0.1n\ ,K\ ,\ 1q + 0.6\delta f)0.7$$

حيث η, θ, δ هي صفات العناصر a, b, f على الترتيب.

6-1- المطابقة بين المعرفة والمعلومات:

تشكل المعرفة في نظم قواعد المعرفة وفي كثير من نظم اتخـاذ القـرار، المحـور الأساسي المرجعي الذي يتم بناء النظام حوله. حيث يطلب كجزء من عمل هذه الأنظمـة، تحديد العقدة المعرفية التي تتطابق مع حالة مدروسة معينة، من بـين مجموعـة العقـد الموجودة في قاعدة المعرفة. أي ما يدعى بالتصنيف المعرفي الذي تنتمي له مسألة معينة.

وللقيام بذلك بناء على ما ذكرناه سابقاً، يجب أن تتم المقارنة بين عناصر العقدة المعرفية من جهة والحالة المدروسة من جهة أخرى، أو بمعنى أدق يجب التحقق من وجود عناصر العقدة المعرفية في الحالة المدروسة للحكم بتطابق هذه الحالة مع العقدة المعرفية، أو للحكم بانتماء الحالة المدروسة للتصنيف المعرفي المحدد بالعقدة المعرفية.

وهذا الأمر ليس صعباً في حال كانت المسألة المدروسة تقع ضمن الإطار التقليدي (الثنائي) للمعلومات، أي في حال كانت عناصر العقدة إما أن تتحقق أو لا تتحقق في الحالة المدروسة. إلا أن هذا التحديد سيصبح أكثر تعقيداً في إطار ترجيحية المعلومات (وهي طبيعة المعلومات الأكثر انتشاراً في نظم قواعد المعرفة)، أي عندما نسمح لعناصر العقدة أن تتحقق في الحالة المدروسة بدرجة معينة تقع في المجال [0,1].

1-6-1- ترجيحية المعلومات:

في هذه الحالة يلزمنا مقياس ما لتحديد درجة تطابق الحالة المدروسة مع عقدة معرفية معينة. وهنا يكون مقياس متوسط التطابق الترجيحي هو المقياس الأنسب في هذه الحالة [8] وذلك لأنه مقياس تم تأسيسه أصلاً لمعرفة مدى تطابق حالة مع مجموعة (عقدة) وفق أسس نظرية المجموعات الترجيحية [8]، وهو يعطى بالشكل:

$$\overline{FC}(A,t) = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mu_{\widetilde{A}}(x_i)}{n} = \frac{\left|\widetilde{A}\right|}{n}$$

حيث A هي العقدة المعرفية, $\mu_{\widetilde{A}}(x_i)$ هي درجة تحقق العنصر x_i من A في الحالة المدروسة t، و $\widetilde{A}$ هي المجموعة الترجيحية الجزئية من A المعرفة من خلال درجات تحقق عناصر المجموعة A.

حيث إننا نلاحظ أن $0 \le \overline{FC}(A,t) \le 1$

2-6-1- ترجيحية المعرفة:

عندما تقع المعرفة ضمن وسط ترجيحي فإن المسألة ستصبح أكثر تعقيداً، حيث إننا في هذه الحالة يجب أن نضع في الحسبان درجة أهمية عناصر العقدة عند تقدير درجة تطابق الحالة مع العقدة المعرفية، وفي هذه الحالة فإن التطابق النسبي $\hat{FC}$ هو المقياس الأنسب للقيام بهذه المهمة [8] لأنه مقياس تم تطويره لمعرفة مدى تطابق حالة مع مجموعةٍ ذات عناصر متباينة الأهمية، مع تأمين إمكانية المقارنة بين تطابق حالة مع أكثر من مجموعة لمعرفة أي من المجموعات هي الأقرب للحالة، وذلك ضمن إطار رياضي سليم، وقد تم البرهان على ذلك في [8]. ويعطى $\hat{FC}$ بالشكل:

$$F\hat{C}(A,t)=\sum_{i=1}^{n}\mu_{\tilde{A}}(x_i).\hat{\mu}_{I\tilde{A}}(x_i)$$

حيث

$$\sum_{i=1}^{n}\hat{\mu}_{I\tilde{A}}(x_i)=\sum_{i=1}^{n}\frac{\mu_{I\tilde{A}}(x_i)}{\sum_{i=1}^{n}\mu_{I\tilde{A}}(x_i)}$$

$$\Rightarrow \qquad 0\le F\hat{C}(A,t)\le 1$$

حيث إن $\mu_{I\tilde{A}}(x_i)$ هي درجة أهمية العنصر x_i من A، و $I\tilde{A}$ هي المجموعة الجزئية الترجيحية المعرفة من خلال درجات أهمية عناصر A، أما $\hat{\mu}_{I\tilde{A}}(x_i)$ فهي الأهمية النسبية لهذه العناصر.

ملاحظات:

من المهم أن نلاحظ أن درجة أهمية عنصر معين في عقدة ما تختلف بشكل عام عن أهمية العنصر نفسه في عقدة أخرى, بينما درجة تحقق العنصر بصفة معينة في حالة مدروسة t لا تختلف من عقدة لأخرى لأنها لا تتبع العقدة بل تتبع الحالة المدروسة.

قد نضطر أحياناً للمواءمة بين الأهمية التكرارية للعقدة المعرفية وبين درجة التطابق الترجيحي لهذه العقدة مع الحالة المدروسة، وفي هذه الحالة نستطيع أن نأخذ متوسط هذين المقدارين.

1-7- عناصر التأكد:

في بعض الأحيان عندما يكون لعدد من العقد درجات تطابق متقاربة, عندئذٍ لا نستطيع أن نجزم بتطابق الحالة المدروسة أو عدم تطابقها مع عقدة معرفية معينة من خلال التطابق الترجيحي وحده، و في هذه الحالة لا بد من وجود نوع من العناصر البسيطة تنتمي إلى العقدة المعرفية لكنها لا تدخل في حساب التطابق الترجيحي، نقوم من خلالها بتأكيد تطابق الحالة أو عدم تطابقها مع العقدة. فمثلاً يستخدم الطبيب التحاليل المخبرية لتأكيد إصابة مريض t بمرض معين A أو عدم إصابته، دون أن تدخل هذه التحاليل في عملية تحديد التشخيص الأولي للحالة [9]. نسمي هذا النوع من العناصر البسيطة بعناصر التأكد.

1-8- مقصور درجة التطابق(تابع تقييم):

أحياناً وفي أثناء عملية الاستدلال قد نحتاج إلى مقياس يساعدنا في المقارنة بين العقد للتركيز على العقد التي يبدو أنها أقرب إلى الحالة، قبل معرفة درجات تحقق كل عناصر العقد، أي أننا نريد مقياساً للتطابق يقتصر على المعلومات التي نعرفها فقط عن العقدة.

وبفرض أن عدد عناصر العقدة A_j هو n، وبفرض A'_j هي مجموعة العناصر التي نعرف درجات تحققها حيث $A'_j \subseteq A_j$ ، وبفرض m هو عدد عناصر A'_j حيث $n \geq m$, عندئذٍ نعرف مقصور درجة التطابق بالشكل:

$$F\hat{C}(A_j) = F\hat{C}(A'_j) = \sum_{i=1}^{m} \mu_{A'_j}(x_i) \cdot \hat{\mu}_{IA'_j}(x_i), \;\; \hat{\mu}_{IA'_j}(x_i) = \frac{\mu_{IA'_j}(x_i)}{\sum_{i=1}^{m} \mu_{IA'_j}(x_i)}$$

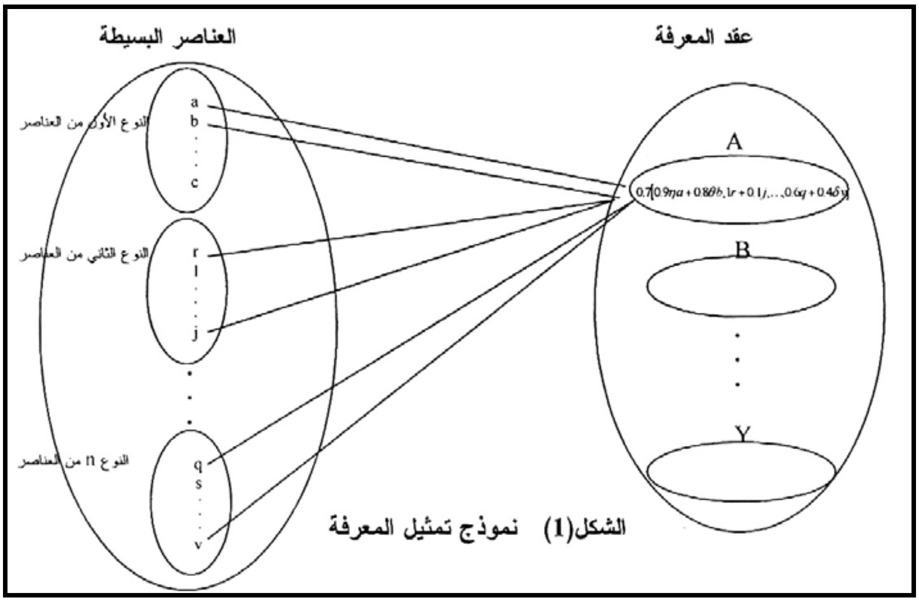
أي وكأننا اعتبرنا أن المجموعة الجزئية A'_j من A_j هي عبارة عن عقدة وقمنا بحساب درجة التطابق لها مع الحالة المدروسة مع عدم تغيير درجات أهمية العناصر التي قلنا: إنها تتغير من عقدة إلى أخرى. وهنا يجب أن نشير إلى أن هذا المقياس لا يصلح لترجيح تطابق حالة مع عقدة معينة أكثر من تطابقها مع عقدة أخرى بشكل نهائي (وخصوصاً عندما يكون الحل وحيداً، أي عندما نفرض أن الحالة المدروسة تتطابق مع عقدة معرفية واحدة) لأنه يعتمد في حكمه على معلومات ناقصة، إلا أنه يساعدنا فقط في المقارنة بين عدة عقد و التوجه نحو أكثرها تطابقاً ضمن حيز المعلومات التي نعرفها عن الحالة. مما يعني أنه يشكل تابعاً لتقييم التقدم نحو الفرع من الشجرة، الذي يمكن أن يؤدي إلى التوصل لعقدة الحل كما سنرى في الفقرات الآتية.

2- نمذجة الاستدلال:

نلاحظ أن الأسلوب السابق لتمثيل المعرفة يعتمد اعتماداً كلياً على نظرية المجموعات (التقليدية أو الترجيحية)، على خلاف ما ألفناه سابقاً في تمثيل المعرفة باستخدام قواعد المنطق وخصوصاً الاستدلالية الأولى(Modus Ponens) [1]. مما يعني أنه يجب تأسيس نموذج جديد للاستدلال لا يعتمد على التطبيق المتكرر للاستدلالية الأولى أو على طريقة الحل (Resolution) كما في أغلب نظم قواعد المعرفة[1]، بل يعتمد على نظرية المجموعات، وسنبين طريقة عمل وأسلوب بناء هذا النموذج في الفقرات المقبلة.

سنتبنى نموذجاً للاستدلال تنقسم فيه عملية الاستدلال إلى مرحلتين أساسيتين هما:

- مرحلة الاستدلال التقدمي، حيث يتم تحديد مجموعة من الحلول المحتملة للمسألة.
- ومرحلة الاستدلال التراجعي، حيث يتم التأكد من مجموعة من الحلول المحتملة بغية التوصل لحل نهائي للمسألة. [3]



الشكل(1) نموذج تمثيل المعرفة

2-1- مرحلة الاسـتدلال التقدمـي:

يتم في هذه المرحلة تحديد مجموعة من العقد المعرفية التي تعد حلاً محتملاً للمـسألة، نسميها مجموعة عقد الشك S (أو اختصاراً مجموعة الشك S)، وذلك من خلال مجموعة من المعلومات الأولية عن المسألة والتي تبين وجود مجموعة من العناصر البسيطة فـي الحالة المدروسة (بدرجات متفاوتة) نسميها مجموعة العناصر الابتدائية. ولتوضيح كيفيـة التوصل لمجموعة الشك سنعتمد على نموذج تمثيل المعرفة الموضح فـي الـشكل (1)، والذي يربط مجموعة العناصر المعرفية البسيطة بالمركبة.

فإذا تبين وجود العناصر الابتدائية a_i $i = 1, \ldots, m$ في الحالة، عندئذٍ لحساب S فإننا نميز بين حالتين:

الحل وحيد:

في هذه الحالة فإن S تعطى بالشكل:

$$S = \bigcap_{i=1}^{m} S_{a_i}$$

حيث: S_{ai} هي مجموعة العقد المعرفية التي تحوي العنصر الابتدائي a_i، أي مجموعة العقد المرتبطة بالعنصر a_i .

ونلاحظ أن هذا التحديد لـ S يفرض ضمنياً أن الحل وحيد، لأنه يفـرض أن عقـدة الحل يجب أن تحوي جميع العناصر الابتدائية، وهذه الفرضية صحيحة فقط في حال كانت العقدة التي تتطابق مع الحالة المدروسة وحيدة.

الحل مركب:

أما لو سمحنا للحل بأن يكون مركباً أي أن تتطابق الحالة مع مجموعة من العقد معاً (أي أن تجمع بين عقد الحل علاقة $\wedge$) عندئذٍ فإن S يجب أن تُحدد بالشكل الآتي:

$$S = \bigcup_{i=1}^{m} S_{a_i} .$$

بعد تحديد S نقوم بترتيب عقدها حسب مقصور درجة تطابقها مع الحالة المدروسـة من خلال العناصر الابتدائية التي من المفترض أن نعرف درجـة تحققهـا مـع الحالـة المدروسة، فإذا أردنا أن نأخذ بالحسبان مدى شيوع العقدة في المجتمع المـدروس نقـوم بترتيب S وفق متوسط[الأهمية التكرارية للعقدة، مقصور درجة تطابق العقدة مع الحالـة المدروسة] لتصبح S مرتبةً من العقدة الأكثر تطابقاً (A_1) إلى الأقل تطابقاً (A_n)بالشكل:

$$S = \{A_1, A_2, \ldots, A_n\} .$$

2-2- مرحلة الاسـتدلال التراجعـي:

يتم في هذه المرحلة التحقق من كل عقد S بوصفها حلولاً محتملة للمسألة، ومـن ثـم التوصل لعقدة (أو عقد) الحل. أي أن هذه المرحلة بمجملها مقادة بالهدف [3].

نستطيع تنفيذ هذه المهمة بإحدى طريقتين:

- إما أن نقوم بالحصول على درجة تحقق كل عنصر من كل عقدة من S في الحالة المدروسة، لكي نتمكن من حساب التطابق الترجيحي النسبي $F\hat{C}$ لكل عقدة من S، لكن ذلك سيكون مكلفاً من ناحية كمية المعلومات التي سنضطر للتحقق مـن وجودها في الحالة المدروسة t.
- أو نقوم بالحصول على درجات تحقق عناصر عقد S بشكل تدريجي مع تقلـيص هذه المجموعة في الوقت نفسه، وذلك من خلال المرور بـثلاث مراحـل نقـوم خلالها بتصفية وتغطية المجموعة S كما سنرى لاحقاً ضمن الفقرة 2-4، وهـي الطريقة الأفضل من حيث التخفيف من الكلفة، هذه المراحل هي:
  - مرحلة الانتقاء والتقصي.
  - مرحلة التقصي عن العناصر المهمة.
  - مرحلة التقصي عن كل عناصر العقد.

ثم نقوم بحساب التطابق الترجيحي النسبي $F\hat{C}$ لكل عقدة من S، فإذا فرضنا أن:

الحل وحيد:

عندئذٍ فإن العقدة ذات التطابق الأعلى (A_1) هي الحل المبدئي للحالة المدروسة.

الحل مركب:

أما إذا فرضنا أن الحل مركب عندئذٍ: نأخذ العقدة ذات التطابق الأعلى A_1، ثم نبحث عن عقدتين متتاليتين A_p, A_{p+1} الفرق بين تطابقهما مع الحالة أكبر من حد معين و ليكن γ, أي $\gamma \le \left(F\hat{C}(A_p,t) - F\hat{C}(A_{p+1},t)\right)$، حيث $\gamma \in [0\ ,\ 1]$، بحيث يشكل هذا الفرق الفاصل المتوقع بين مجموعة الحلول و باقي عقدS، وذلك ضمن مجال قطره لا يتجاوز 2γ بدءاً من العقدة A_1، أي $2\gamma \ge \left(F\hat{C}(A_1,t) - F\hat{C}(A_p,t)\right)$، وذلك حتى تكون مجموعة الحلول متطابقة مع الحالة بشكل مقبول وليس بدرجة صغيرة مقارنةً مع العقدة A_1. ثم نقوم باقتطاع (حذف) كل العقد من S التي تقع بعد هذا الفاصل أي $A_{p+1}, A_{p+2}, \ldots, A_n$، ونعد العقد الباقية حلاً مبدئياً للمسألة.

أما إذا لم نجد مثل هاتين العقدتين ضمن المجال المفروض فنقوم باقتطاع كل العقد من S التي تقع خارج مجال التطابق 2γ، أي التي طابقها $F\hat{C}$ خارج المجال $[F\hat{C}(A_1,t) - 2\gamma, F\hat{C}(A_1,t)]$ ونعد العقد الباقية حلاً مبدئياً للمسألة.

2-2-1- القطع γ:

نسمي العملية السابقة بالقطع γ و نستطيع أن نعبر عنه بالشكل:

$$\begin{aligned}
& for \quad \gamma \in [0 \ ,\ 1]\ , \\
& \exists \ \ A_{K(\gamma)} :\ F\hat{C}(A_1,t) - F\hat{C}(A_{K(\gamma)},t) \le 2\gamma \ ; \\
& \qquad \exists \ \ A_p \in [A_1, A_{K(\gamma)}] \ :\ F\hat{C}(A_p,t) - F\hat{C}(A_{p+1},t) \ge \gamma \\
& \qquad\qquad \Rightarrow \ S = S - \{A_{p+1}, A_{p+2}, \ldots, A_n\} \\
\vee \ & \qquad \nexists \ \ A_p \in [A_1, A_{K(\gamma)}] \ :\ F\hat{C}(A_p,t) - F\hat{C}(A_{p+1},t) \ge \gamma \\
& \qquad\qquad \Rightarrow \ S = S - \{A_{K(\gamma)+1}, \ldots, A_n\}
\end{aligned}$$

بعد القطع γ تأتي

- مرحلة التأكد من الحل المبدئي عن طريق عناصر التأكد، والتي سنبينها أيضاً ضمن الفقرة 2-4.

2-3- العمليات الأساسية لتقليص مجموعة الشك S:

في الحقيقة في أغلب نظم قواعد المعرفة بما فيها الخبيرة، لا نرغب في الاضطرار لمعرفة درجات تحقق عناصر كل عقد S في الحالة المدروسة t لكي نستطيع تحديد عقدة الحل باستخدام $F\hat{C}$، لأن ذلك سيكون مكلفاً من ناحية كمية المعلومات التي سنضطر للتحقق من وجودها في الحالة المدروسة t، مما قد يؤدي إلى آثار سلبية في استثمار النظام. لذلك فإننا نلجأ لاستبعاد العقد من S التي من الواضح مسبقاً أنها لا يمكن أن تكون حلاً للحالة المدروسة، من خلال بعض المعلومات التي نعرفها عن الحالة. وبذلك نستطيع تأمين تدريجية الحصول على المعلومات عن الحالة مع إنقاص عدد عقد S في الوقت نفسه أو ما ندعوه باستراتيجية التقصي والإزالة التدريجيين، وذلك سعياً في تحقيق التوازن بين أمثلية الأداء ودقة النتائج. وسيساعدنا في تحقيق هذه المهمة التقاطعات الموجودة بين العقد المعرفية (التشابك المعرفي للمسألة). ومن ثم في نهاية الأمر نقوم بحساب $F\hat{C}$ للعقد المتبقية في S ونطبق القطع γ عليها، ثم نتأكد من الحل من خلال عناصر التأكد. للقيام بهذه المهمة سنعرف القطعين $\beta\alpha$ و α كما يأتي:

2-3-1- القطع $\beta\alpha$:

سنقوم بحذف العقد من S التي يكون فيها:

1. درجة أهمية عنصر ما منها أكبر من حد معين وليكن α (كبيراً نسبياً).
2. درجة تحقق هذا العنصر في الحالة المدروسة أصغر من حد معين و ليكن β (صغيراً نسبياً).

حيث $\alpha > \beta \ \wedge \ \alpha, \beta \in [0 \ , \ 1]$ ومن ثم نستطيع أن نكتب:

$$\forall A_j \in S, \forall \lambda \ x_i \in A_j : \mu_{I\tilde{A}_j}(\lambda \ x_i) \geq \alpha \wedge \mu_{\tilde{A}_j}(\lambda \ x_i) \leq \beta$$

$$\Rightarrow S = S - \{A_j\}$$

$$j = 1,\ldots,n = card(S), \quad i = 1,\ldots,l = card(A_j).$$

حيث $\mu_{\tilde{A}_j}(\lambda \ x_i)$ هي درجة تحقق العنصر x_i بالصفة λ في الحالة المدروسة t.

أما $\mu_{I\tilde{A}_j}(\lambda \ x_i)$ فهي درجة أهمية العنصر x_i بالصفة λ في العقدة A_j.

نسمي هذه العملية بالقطع $\beta\alpha$ ونستطيع تطبيقه سواء كان الحل وحيداً أم مركباً.

2-3-2- القطع α (الحل وحيد):

عندما يكون الحل وحيداً، أي عندما تكون واحدة فقط من عقد S هي الحل للحالة المدروسة و باقي العقد ليست حلاً، فإنه إذا تحقق عنصر معين من إحدى عقد S في الحالة بشكل واضح جداً (أي درجة تحققه في الحالة أكبر من حد معين وليكن α)، فإننا سنقوم

بحذف العقد من S التي لا تحوي هذا العنصر كواحد من عناصرها لأنها حتماً لن تكـون حلاً للحالة المدروسة.

أي: $\forall A_j \in S \;\; \wedge \;\; \exists x_i \notin \mathrm{A}_j : \mu(\lambda \mathrm{x}_i) \geq \alpha \;\; \Rightarrow \mathrm{S} = \mathrm{S} - \{\mathrm{A}_j\}$

ويجب أن ننتبه هنا على أننا استخدمنا α مع درجة تحقق العناصر وليس مـع أهميـة العناصر (كما في القطعβα) وذلك للتعبير عن تحقق العنصر بشكل واضـح جـداً فـي الحالة، مما يقلل علينا الجهد عند ضبط النموذج من خلال ضبط قيم مثل هذه المتحولات.

2-3-3- ضبط النموذج من خلال α , β , γ:(tuning the model)

ندعو α بمحدد مستوى الوضوح، وβ بمحدد مستوى عدم التحقق، وγ بمحدد مـستوى التطابق.

وتتبع قيمة α ، β ، γ المعرفة وطبيعة التوجه في المسألة.

فبالنسبة لـ α، فإن قيمتها يجب أن تكون مرتفعة نسبياً (0.9 مثلاً)، مما يؤمن للنظام قدراً معقولاً من الوثوقية في حذف العقدة في حال عدم تحقق أحد عناصره المهمة.

أما β، فمن الأفضل تخفيض قيمتها نسبياً (0.4 مثلاً) لأننا نعطي بذلك للنظام مـساحة مقبولة من الحرية تؤمن له مرونة في تحديد الحل دون التفريط بالعقـد (حـذفها) بـسبب تحقق أحد عناصرها المهمة بشكل وسطي مثلاً (0.5) .

أما γ فيجب أن تميل إلى الصغر دون تفريط (0.2 أو 0.3 مثلاً) مما يقلل من احتمال حذف العقد التي قد تكون حلاً للحالة دون تعطيل عمل القطع γ بزيادة قيمتها.

ويمكن أن يتم تحديد α ، β ، γ بشكل عملي، تبعاً للمسائل التي يتصدى لهـا النظـام الذي يستخدم هذا النموذج، عن طريق شبكة عصبونية نقوم بتعريـضها لمجموعـة مـن الحالات معروفة الحل مسبقاً ونطبق إحدى خوارزميات التعلم البسيطة لضبط قيمα، β، γ من خلالها.

كما يمكننا تغيير قيم α، β، γ بما يتناسب مع الحالة المدروسة، مما يؤمن لنموذجنـا قدراً كبيراً من المرونة في تحديد الحالات الضبابية الطبيعة بالنسبة لتحقق العناصر، وهنا نشير إلى أنه يجب ألا نغير قيم α وβ من عنصر إلى عنصر أو من عقدة إلى عقـدة، إلا أننا نستطيع تغيير قيمهما من مرحلة إلى أخرى لضرورات تقتضيها الحاجة كما سـنرى لاحقاً.

ملاحظة:

تحدثنا في الفقرات السابقة عن العمليات التي نستطيع من خلالها تقليص عـدد عقـد المجموعة S وهي تعتمد بمجملها على درجات تحقق عناصر عقد S، أما كيفية الحصول على هذه الدرجات، والذي نسميه تقصي درجة التحقق، فهو موضوع خارج نطـاق هـذا

البحث، وهو أمر يتبع طبيعة النظام، ففي نظم التحكم، هذا يعني وجود حساسات لقيـاس مقادير معينة كالضغط أو الرطوبة، أما في النظم الخبيرة الطبية فهو يعني فحص المريض ومعاينته وتقدير درجة تحقق العنصر (العارض أو العلامـة) بإحـدى طـرق التـرجيح المعروفة.

2-4- مراحل الاستدلال التراجعي (انتقاء العناصر وتقليص المجموعة S):

للحصول على المعلومات بشكل تدريجي مع تقليص مجموعة الـشك نُمـرر مرحلـة الاستدلال التراجعي بثلاث مراحل جزئية هي؛ مرحلة الانتقاء والتقصي، ومرحلة التقصي عن العناصر المهمة، وهما مرحلتا تصفية وتغطية (تـصفية لـ S وتغطيـة تدريجيـة لعناصر عقدها)، أما الثالثة فهي مرحلة التقصي عن كل عناصر العقد، و هـي مرحلـة تغطية، وعندما نأخذ بالحسبان تطبيق القطع γ بعد هذه المرحلة مباشرة فيمكن اعتبارهـا أيضاً مرحلة تغطية وتصفية.

2-4-1- مرحلة (خـوارزميـة) الانـتقاء والتقصي (البحث بالأفضل أولاً):

سنقوم في هذه المرحلة بانتقاء العناصر الأفضل عـن طريـق خوارزميـة الانتقـاء والتقصي، التي تسعى في التوصل لعقد(ة) الحل بأسرع طريقة ممكنة وبأقـل قـدر مـن عمليات التحقق، وذلك بمساعدة مقصور درجة التطابق و باستغلال التـشابك المعرفـي، الذي قلنا: إننا كثيراً ما نواجهه في المعارف التي نستخدمها في شتى المجـالات، وذلـك بهدف الاقتراب من أمثلية الأداء (من حيث التخفيف من كلفة التقصي عن المعلومات) مع الحفاظ على مستوى جيد من الدقة. حيث تقوم هذه الخوارزمية بترتيبS حسب مقـصور درجة تطابق العقد مع الحالة المدروسة وتبحث عن العنصر الأفضل من عناصر عقد S، من حيث وجوده في أكبر عدد ممكن من عقدS، وبعد معرفة درجة تحققه في الحالة، يـتم تطبيق القطعينαβ وα إذا فرضنا أن الحل وحيد والقطع αβ فقـط إذا فرضـنا أن الحـل مركب.

خـوارزميـة الانـتقاء والتقصي:

سنصطلح على أننا عندما نقول نطبق القطعينαβ - α فهذا يعني تطبيق القطعـين αβ وα إذا فرضنا أن الحل وحيد و تطبيق القطع αβ فقط إذا فرضنا أن الحل مركب.

لتكن S مجموعة الشك بالشكل $S = \{A_1 , A_2 ,..., A_n \}$ حيث S مرتبة من الأكثر تطابقاً نحو الأقل تطابقاً، وذلك من خلال متوسط[مقصور درجة الشك وفـق العناصـر الابتدائية، والأهمية التكرارية للعقد المعرفية]. سنميز بين حالتين لعدد عقـد S، والـذي سنرمز له بـ card(S) = قدرة المجموعة S = عدد عقد المجموعة؛

▪ **إذا كان عدد عقد الشك كبيراً نـسبياً، أي أنـه أكبـر مـن حـد معـين ولـيكن q ($card(S) > q$) عندئذٍ:**

فإننا سنحاول وبشكل طبيعي التخلص من العقد الأقل تطابقـاً، وذلـك مـن خـلال مجموعات التقاطع R_i الناتجة عن تقاطع آخر i عقدة من S (أي العقد i الأقل تطابقاً في S) حيث $i = n, \ldots, 2$ ، بحيث نحاول ضم أكبر عدد من العقد الأقل تطابقاً.

نبدأ بمجموعة التقاطع $R_n = A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap \ldots \cap A_n$ الناتجة عن تقاطع كل عقد S فنرتب عناصرها x_j وفق عدد العقد التي يكون العنصر مهماً لها ونرمز لهذا العدد بـ m_j حيث $1 \le m_j \le i$ (أي أننا نفرض على كل عنصر من R_i أن يكون مهمـاً لعقـدة واحدة على الأقل من العقد المولدة لـ R_i)، ثم نطبق القطعين αβ- α وفق كل عنصر منها بالترتيب، بعد أن نعرف (نتقصى) درجة تحققه في الحالة، بغية حذف أكبر عدد ممكن من العقد بأقل كمية من المعلومات. وعندما نغطي كل عناصر مجموعة التقـاطع، أو عنـدما تكـون هـذه المجموعـة خاليـة، فإننـا ننتقـل إلـى مجموعـة التقـاطع $R_{n-1} = A_2 \cap A_3 \cap \ldots \cap A_n$، وهكذا نكرر هذه العملية على باقي مجموعات التقـاطع حتى يصبح عدد عقد S صغيراً نسبياً، أو حتى نستوفي كل مجموعات التقاطع أي حتـى نصل إلى مجموعة التقاطع $R_2 = A_{n-1} \cap A_n$. وفي هذه الحالة إذا لم يصبح عدد عقـدS صغيراً نسبياً فإننا سنحاول التقليل من عدد أمراض S بأن نقوم باختيار العنصر الأكثـر أهميةً من كل عقدة في S (والذي نسميه العنصر المفتاحي ودرجة أهميتـه=1) مبتـدئين بالعقدة الأقل تطابقاً، وبعد أن نتقصى درجة تحقق هذا العنصر نطبـق القطعـينαβ – α وفقه ثم ننتقل إلى العقدة التالية وهكذا.. حتى يصبح عدد عقد الشك صغيراً نسبياً أو حتى نستوفي كل العناصر المفتاحية، فإذا لم يصبح عدد عقد الشك صغيراً نسبياً فإننـا ننتقـل بشكل طبيعي إلى مراحل التقصي الآتية والتي سنراها لاحقاً (الفقرات2-4-2, 2-4-3) والتي ستؤدي بالنتيجة إلى حسم المسألة لصالح إحدى العقد، ومن المفيد هنا أن نرفع قيمة β في هذه المرحلة الجزئية فقط بحيث نعطيها القيمة 0.6 مثلاً لأن ذلك سيساعدنا فـي استبعاد العقد التي تبدو بعيدة عن الحالة.

وحالما يصبح عدد عقد الشك صغيراً نسبياً فإن الخوارزمية ستدخل في مرحلتها الثانية والتي سنبينها لاحقاً، ومن ثم بناء على ما سبق نستطيع كتابـة المرحلـة الأولـى مـن الخوارزمية بالشكل الآتي:

$Select\,\&\,Inspect\_stage1()$

$\{$

$i = card(S) \qquad\qquad //\, i\ \ will\ \ represent\ \ the\ \ level$

$if\,(i \le q) \Rightarrow return$

$do\{$

$\qquad n = card(S)$

$$\qquad \mathrm{R_i} = \bigcap_{\mathrm{j}=n-i+1}^{\mathrm{n}} \mathrm{A_j} : \ \ \forall a_j \in \mathrm{R_i};\ \ i \ge m_j \ge 1$$

$\qquad if\,(R_i = \varnothing) \Rightarrow \mathrm{continue}$

$\qquad \mathrm{Ord}\,(\mathrm{R_i}, m)$

$\qquad while(\mathrm{R_i} \ne \varnothing)\{$

$\qquad\qquad a_{best} = (a_1 \in R_i), \qquad R_i = R_i - \{a_1\}$

$\qquad\qquad Inspect(Desc[a_{best}, S]\,)$

$\qquad\qquad \alpha\beta\text{-}\alpha\mathrm{Cuts}\,(\mathrm{S}, a_{best})$

$\qquad\qquad if\,(\,S\ \ was\ \ \ changed\,) \Rightarrow \{$

$\qquad\qquad\qquad if\,(card(S) > q) \Rightarrow \quad \mathrm{i = card\,(S)}$

$\qquad\qquad\qquad \mathrm{break}$

$\qquad\qquad \}$

$\qquad \}$

$\qquad Ord(S, P\&\hat{C})$

$\}while(--i \ge 2 \quad \wedge \quad card(S) > q\ )$

$\}$ −−

نسمي R_i مجموعة تقاطع من المستوى I، ونلاحظ أنه في كل مستوى تقـاطع هنـاك عدة مجموعات تقاطع اخترنا منها في هذه المرحلة من الخوارزمية مجموعـة التقـاطع الناتجة عن تقاطع العقد i الأقل تطابقاً في S، وسنرى في المرحلة الثانية من الخوارزمية ترميزاً معيناً للتمييز بين مجموعات التقاطع من المـستوى نفـسه. ونلاحـظ أن مهمـة الإجرائية $Inspect\,(Desc[a_{best}, S]\,)$ لن تكون فقط تقصي درجة تحقق العنصر a_j في الحالة المدروسة، بل عن العنصر a_j وجميع صفاته التي يوجد فيهـا فـي عقـد الـشك المختلفة. وتبقى عملية التقصي عن العناصر المفتاحية والتي لها الشكل:

$TrytoMakeCardSLess\_q()$

$//Try \quad to \quad Make \quad Card(S) \le q \quad through \quad keyElements$

$\{if\,(card(S) \le q) \Rightarrow \quad return$

for $\quad i = card(S) \quad downto \quad 1$

$\{ \qquad Y_i = select(a_j \in A_i : imp(a_j) == 1 \quad \wedge \quad sat(a_j) == null)$

$\quad while\ (Y_i \ne \emptyset)\{$

$\qquad a_{best} = (a_1 \in Y_i), \qquad Y_i = Y_i - \{a_1\}$

$\qquad Inspect\ (Desc[a_{best}, S]\ \ )$

$\qquad \alpha\beta$ -αCuts (S, a_{best})

$\qquad if\,(card(S) \le q) \Rightarrow \quad return$

$\quad \}$

$\}$

$\}$

حيث إن $select(a_j \in A)$ تقوم باختيار العناصر المفتاحية من A_i أي العناصر التي درجة أهميتها=1 في A_i بشرط: أن لا يكون قد تم التقصي عنها من قبل (أي $(sat(a_j) == nul$).

- **أما عندما يكون أو يصبح عدد عقد الشك صغيراً نسبياً ($card(S) \le q$):**

فإننا نقوم في هذه الحالة بالبحث عن أفضل عنصر، من حيث أهميته لأكبر عدد ممكن من عقد S، مع إعطاء الأولوية للعقد ذات التطابق الأعلى، والذي إذا تقصينا عنه نحيط بأكبر قدر من المعلومات عن عقد S و(أو) نستثني أكبر عدد ممكن من عقد S وذلك بشكل مشابه لما قمنا به في الخطوة السابقة لكن بشكل أكثر توسعاً وتفصيلاً كما يأتي:

لتكن $S = \{A_1, A_2, A_3, \ldots , A_n\}$، عندئذٍ نسمي مجموعة التقاطع $R_i^{(r)}$، الناتجة عن تقاطع i عقدة من S، بمجموعة تقاطع من المستوىi، ووضعنا الدليل (r) للتمييز بين مجموعة تقاطع وأخرى، حيث إن عدد مجموعات التقاطع من المستوى i يحدد من خلال التوافيق بالشكل:

$$C_n^i = \frac{n!}{i!\,(\text{n - i})!}$$

أي أن الدليل r الذي يميز مجموعة تقاطع عن أخرى من المستوى نفسه يأخذ قيمـه بالشكل: $r = 1, ..., C_n^i$. نسمي مجموعة العقد المؤلفة من i عقدة بالمجموعـة المولـدة لمجموعة التقاطع $R_i^{(r)}$ ونرمز لهـا بـ ـ $prod(R_i^{(r)})$. ومـن المهـم أن نلاحـظ أن $prod(R_i^{(r)})$ هي مجموعة عقد أما $R_i^{(r)}$ فهي مجموعة عناصر. فمثلاً:

$$R_3^{(1)} = A_1 \cap A_2 \cap A_3$$

بينما $prod(R_3^{(1)}) = \{A_1, A_2, A_3,\}$.

أما مجموعة مجموعات التقاطع من المستوى i فهي:

$$Level(i) = \{R_i^{(1)}, R_i^{(2)}, \ldots, R_i^{(C_n^i)}\}$$

فمثلاً: عندما تكون n=4 فإن مجموعات التقاطع من المستوى 3 هي:

$$R_3^{(1)} = A_1 \cap A_2 \cap A_3, \quad R_3^{(2)} = A_1 \cap A_2 \cap A_4,$$

$$R_3^{(3)} = A_1 \cap A_3 \cap A_4, \quad R_3^{(4)} = A_2 \cap A_3 \cap A_4$$ ،

حيث $Level(3) = \{R_3^{(1)}, R_3^{(2)}, R_3^{(3)}, R_3^{(4)}\}$

بعد أن نقوم بحساب مجموعة مجموعات التقاطع من المستوى i أي *Level (i)*, نقـوم باختيار أفضل عنصر من كل مجموعات التقاطع من حيث أهميته بالنسبة لأكبر عدد مـن عقد مجموعة الشك S، وذلك بأن نرفق كل عنصر a_j من $R_i^{(r)}$ (في أثناء حسابها) بعـدد $m_j^{(r)}$ هو عدد العقد من $prod(R_i^{(r)})$ والتي يكون العنصر a_j مهمـاً بالنـسبة لهـا (درجة أهميته $\leq \alpha$)، ندعو $m_j^{(r)}$ بعدد الأهمية لـ a_j في $R_i^{(r)}$ حيـث $1 \leq m_j^{(r)} \leq i$ ، ثم نقوم بتوحيد كل مجموعات التقاطع من المستوى I في مجموعة واحدة هي اجتماع هذه المجموعات، ندعوها مجموعة التقاطع الكلية من المستوى I ونرمز لها بـ R_i، بحيث إذا وجد العنصر في أكثر من مجموعة تقاطع فإننا نرفق به أكبر $m_j^{(r)}$ أي:

$$R_i = R_i^{(1)} \cup R_i^{(2)} \cup R_i^{(3)} \quad \ldots$$

$$\cup R_i^{(C_n^i)}, \qquad \forall \ a_j \in R_i : \ m_j = \max(m_j^{(r_1)}, m_j^{(r_2)}, \ \ldots \ \ m_j^{(r_h)} \ )$$

حيث h هي عدد مجموعات التقاطع $R_i^{(r)}$ التي تحوي a_j, حيث $1 \leq h \leq C_n^i$. ثـم نقوم بترتيب عناصر R_i وفق محددات الأهمية لهذه العناصر ونقوم بالتقصي عن عناصر

R_i واحداً تلو الآخر وبأسلوب الخطوة السابقة نفسه. ومن ثم فهذه المرحلة من الخوارزمية تصبح على الشكل الآتي:

$Select \,\&\, Inspect\_stage2(S)$

$\{$

$i = n = card(S)$ $\quad\quad\quad$ $// \, i \quad represents \quad the \quad level$

$if\,(i == 1) \Rightarrow return$

$do\{$

$\quad R_i = CalcTotalIntersectionSetOfLevel(i, S)$

$\quad if\,(R_i = \varnothing) \Rightarrow \text{continue}$

$\quad Ord\,(\mathrm{R_i}, m)$

$\quad while\,(\mathrm{R_i} \neq \varnothing)\{$

$\quad\quad a_{best} = (a_1 \in R_i), \qquad R_i = R_i - \{a_i\}$

$\quad\quad Inspect\,\,(Desc[a_{best}, S]\,\,)$

$\quad\quad \alpha\beta - \alpha\text{Cuts (S, } a_{best})$

$\quad\quad if\,(\,S \quad was \quad changed \quad) \Rightarrow \text{Recalc(}\mathrm{m_k} \text{ for each } a_k \in \mathrm{R_i})$

$\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad Ord\,(\mathrm{R_i}, m)$

$\quad \}$

$\quad Ord(S, P\&\hat{C})$

$\}while(--i \geq 2)$

$\}$

أما $CalcTotalIntersectionSetOfLevel(i, S)$، خوارزمية حساب مجموعة التقاطع الكلية R_i ، فهي بالشكل الآتي:

خوارزمية حساب مجموعة التقاطع الكلية من المستوى i

$CalcTotalIntersectionSetOfLevel(i,S)$

{

$\quad n = card(S)$

$\quad r = 0$

$\quad while(++r \le C_n^i)\{$

$\qquad prod(R_i^{(r)}) = SelectNextSubSet(\text{ S, i })$

$$R_i^{(r)} = \bigcap_{j=1}^{i} A_j : \quad A_j \in prod(R_i^{(r)})$$

$$R_i = R_i \cup R_i^{(r)} : if\ [a_j \in R_i \cap R_i^{(r)} \Rightarrow m_j = \max(m_j, m_j^{(r)})$$

$\quad \}$

$return\ R_i$

}

أما الخوارزمية $SelectNextSubSet(\text{ S, i}, r)$ فقد تم عرضها فـي الملحـق (أ) لاحتوائها على بعض التفاصيل التقانية، كما تم عرض كلفة الخوارزمية في الملحق(ب).

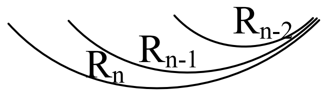
نلاحظ في هذه الخوارزمية أن الفرق بين مرحلتيها يتركز في أمرين:

- عند اختيار مجموعة التقاطع(كما بينا سابقاً).
- و بعد تطبيق القطعين αβ - α, حيث نقوم، عندما تكون $card(S) \le q$, بإعادة حساب جميع أعداد الأهمية m_j لكل عناصر مجموعة التقاطع R_i عندما يؤدي تطبيـق القطعين αβ - α إلى حذف إحدى عقد S، ثم نعيد ترتيب مجموعة التقاطع R_i وفقهـا. ذلك أن هذا الحذف قد يؤدي إلى تغيير أعداد الأهمية لبعض عناصر مجموعة التقاطع R_i . بينما عندما تكون $card(S) > q$ نقوم بإعادة حساب كل مجموعـات التقـاطع للمستويات المختلفة عندما يؤدي تطبيق القطعين αβ - α إلى حـذف إحـدى عقـد S. والسبب في ذلك هو أنه عندما تكون $card(S) \le q$ فإننا نغطي كل مجموعات التقاطع لكل مستوى، ومن ثم فإعادة حساب مجموعات التقاطع لن يكون له فائـدة لأن نتـائج التقاطع ستبقى كما هي. بينما عندما تكون $card(S) > q$ فإننـا لا نحـسب سـوى

مجموعة واحدة من مجموعات التقاطع في أي مستوى، كما أن لترتيـب العقـد دوراً كبيراً في تحديد مجموعة عقد التقاطع الأقل تطابقاً (الوحيدة) لكل مستوى، ومن ثم عند حذف إحدى عقدS فإن جميع مجموعات التقاطع الأقل تطابقاً والتـي تحـوي العقـدة المحذوفة ستتغير، ومن ثم نعيد حسابها لأن نتائج تقاطع هذه المجموعات ستتغير.

فمثلاً إذا تم حذف العقدة A3 فإن مجموعات التقاطع R_{n-2} , R_{n-1} , R_n ستتغير حتمـاً، ومن ثم يجب إعادة حسابها.

$$S = \{A_1 , A_2 , \mathbf{A_3} , A_4 \ldots A_n\}$$



أما عن باقي مجموعات التقاطع فإن الخوارزمية لن تصل إليها لأنها لو وصلت إليها لما تم حذف A3 لأنها لا تحوي A3، هذا عدا أن الترتيب وفق مقصور درجـة التطـابق سيؤدي إلى إبقاء التركيز على العقد الأقل تطابقاً بناء على ما نعرفه من معلومـات وقـد يؤدي إلى تغيير ترتيب عقد الشك.

2-4-2- مرحلة التقصي عن العناصر المهمة:

بعد تطبيق خوارزمية الانتقاء والتقصي نقوم بمعرفة درجات تحقق العناصر المهمـة في العقد, أي العناصر التي درجة أهميتها $\leq \alpha$، ولم تشملها أية مجموعـة تقـاطع فـي مرحلة الانتقاء والتقصي السابقة مبتدئين بالعقد الأكثر شكاً، ونطبق القطعين $\alpha\beta - \alpha$ وفق هذه العناصر مما يساعد في تقليص S وتقليل عمليات التقصي في المرحلة التاليـة، ثـم ننتقل لـ

2-4-3- مرحلة التقصي عن كل العناصر:

حيث نقوم بمعرفة درجات تحقق باقي العناصر التي لم يـتم انتقاؤهـا فـي أي مـن المراحل السابقة.

2-4-4- تكرار المراحل على أنواع العناصر:

عند وجود أكثر من نوع من العناصر البسيطة في العقد المعرفية عندئذٍ يجب تكـرار المراحل (العمليات) الثلاث السابقة (الانتقاء والتقصي، تقصي العناصر المهمة، وتقـصي كل العناصر) على كل نوع من أنواع العناصر البسيطة على حدة وفـق الترتيـب الـذي يناسب المسألة أو وفق ما يفضله وينتقيه المستثمر، حتى نصل إلى حل مبدئي (وحيـد أو مركب).

- حيث يمكننا تطبيق كل منها على كل نوع مـن العناصـر بالترتيـب السابق نفسه، مما يقلل من عدد عمليات التقصي إلا أنه قد يؤدي أحياناً إلـى بعـض التشتت بالنسبة للمستثمر (في حال وجود احتكاك مباشر بين المستثمر والنظام). فمثلاً من أجل نظام خبير للتشخيص فإن الترتيب الآتي هو الأفضل من حيث التقليل مـن عدد الأسئلة:

تطبيق خوارزمية الانتقاء والتقصي من أجل الأعراض، تطبيق خوارزميـة الانتقـاء والتقصي من أجل العلامات.

تقصي الأعراض المهمة، تقصي العلامات المهمة.

تقصي كل الأعراض، تقصي كل العلامات.

- أو يمكننا تطبيق العمليات الثلاث ككتلة واحدة علـى كـل نـوع مـن العناصر بشكل منفصل، مما يقلل من تشتت عمليات تقصي النظام (ومن ثم يقلل من التشتت في أسئلة النظام في حال وجود احتكاك مباشر بين المستثمر والنظام) إلا أنه قد يؤدي إلى زيادة في عدد عمليات التقصي.

2-4-5- مرحلة التأكد من الحل:

نقوم في هذه المرحلة بالتقصي عن عناصر التأكد في عقد الحل المبـدئي ثـم نطبـق القطعين $\alpha\beta - \alpha$ وفق هذه العناصر، والعقد المتبقية تكـون الحـل للمـسألة أو للحالـة المدروسة.

فإذا كان الحل وحيداً وتم حذف العقدة ذات التطابق الأعلى فإننا ننتقل إلى العقدة التـي تليها في درجة التطابق فنعيد العملية نفسها عليها.

فإذا توصلنا إلى مجموعة شك فارغة (سواء كان الحل وحيداً أم مركباً) عندئـذٍ فإننـا نواجه إحدى حالات عدم تعيين، والتي سنعرض كيفية معالجتها في الفقرة الآتية.

2-5- معالجة حالات عـدم التعيـن:

يقع على عاتق نظم قواعد المعرفة توفير آلية معينة لمعالجة حالات عدم التعيين التـي يمكن أن تقع فيها، والتي أحياناً لا يمكن تجنبها نتيجةً لطبيعة المسائل التي تواجهها هـذه

النظم. وفي الحقيقة فإن حالات عدم التعيين التي يمكن أن يقع فيها نموذجنا تتركـز فـي إمكانية الوصول إلى مجموعة شك خالية، $S = \varnothing$، وهذا قد يحدث في حالتين:

- إما في مرحلة الاستدلال التقدمي

- لأن الحالة المدروسة تقع خارج نطاق المعرفة (أي أن عقد الحل للحالة المدروسة غير موجودة أصلاً في قاعدة المعرفة)، أو أن الحالـة المدروسـة لهـا طبيعة ضبابية غير واضحة.

- أو لأننا فرضنا أن الحل وحيد وهو ليس كذلك، فطبقنا الطريقة الأولى لحساب S والتي تفرض أن الحل وحيد، في حين كان يجب تطبيق الطريقة الثانيـة لحساب S والتي تفرض أن الحل مركب.

- أو في أثناء مرحلة الاستدلال التراجعي أو في نهايتها:

- لأن الحالة المدروسة تقع خارج نطاق المعرفة، أو أن الحالة المدروسة لها طبيعة ضبابية غير واضحة.

- أو لأننا فرضنا أن الحل وحيد وهو ليس كذلك، فقمنا بتطبيق القطـع α مع القطع αβ في حين كان يجب تطبيق القطع αβ فقط.

ومن ثم فالأسباب هي نفسها في الحالتين وهي:

- إما لأننا فرضنا أن الحل وحيد في حين هو مركب، وفي هذه الحالة يمكن تدارك المشكلة ببساطة بإعادة حساب S باستخدام الطريقة الثانية، وإعادة تطبيق القطـع αβ وفق العناصر التي تم تطبيقها وفقها مع عدم تطبيق القطعα عليها. [ومن ثـم لتـوفير ذلك يجب أن يقوم النظام الذي يعتمد هذين النموذجين (المعرفي والاستدلالي)، بتخزين الأحداث المختلفة التي تقع في أثناء عملية الاستدلال (العناصر الابتدائيـة، القطـوع والعناصر التي تم تطبيقها وفقها، ...الخ)].

- أو لأن الحالة المدروسة لها طبيعة ضبابية غير واضحة، وفي هذه الحالة فـإن رفع قيمة β وخفض قيمة α ، γ قد يساعد في التوصل إلى حل للمسألة.

- أو لأن الحالة تقع خارج نطاق المعرفة وفي هذه الحالة يجب إعـلام المـستثمر بذلك، ويتوقف النموذج عند هذه النقطة، ومن ثم للتخفيف من الوقوع في هذه المشكلة يجب أن تكون قاعدة المعرفة واسعة وشاملة قدر الإمكان.

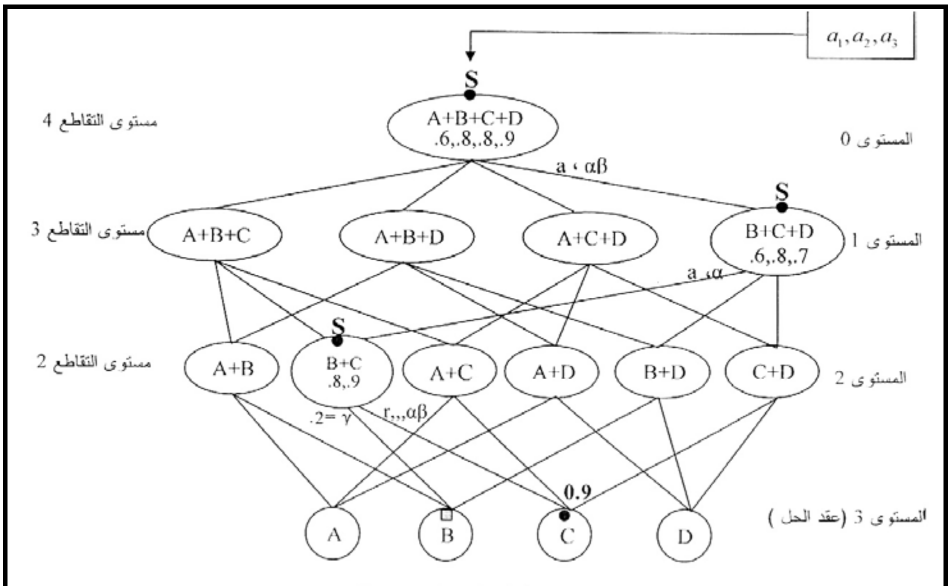
أما عن كيفية تحديد سبب عدم التعيين فهو أمر يرجع إلى طبيعة المسائل التي يتصدى لها النظام، فمثلاً في أنظمة التحكم يمكن تجريب حلول الأسباب السابقة واحداً تلو الآخـر عندما يقع النظام في حالة عدم تعيين، بحيث يقوم النظام بإصدار إنـذار معـين عنـدما يتوصل إلى أن الحالة تقع خارج نطاق معرفته.

6-2- تمثيل عمليات الاسـتدلال بشـكل شجري:

يمكن تمثيل عمليات الاستدلال السابقة من خلال شجرة تتجزأ إلى عدة مستويات كـل مستوى منها يوافق مستوى تقاطع معين، وعقد كل مستوى هـي مولـدات مجموعـات التقاطع لهذا المستوى، والتي تشكل مجموعات الشك المحتملة في شتى مراحل الاسـتدلال نتيجة تطبيق أحد القطوع على S. ويـتم الانتقـال بـين عقـدة وأخـرى مـن خـلال القطوع $\alpha\beta - \alpha$ و γ. أما مقصور درجة التطابق فيشكل تابع تقييم يساعد في إضـاءة الفرع الأقرب إلى عقدة الحل، التي تقع في أسفل الشجرة بين مجموعة من العقد هي كـل عقد الشك بشكل منفرد. الشكل (2) يبين مثالاً على ذلك من خلال مجموعة شك مبدئيـة مؤلفة من أربع عقد هيA,B,C,D، حيث إن هذه الشجرة تقرأ بالشكل الآتي: فـي البـدء كانت لدينا مجموعة العناصر الابتدائية a_1,a_2,a_3 فتم الاسـتنتاج مـن خـلال عمليـة الاستدلال التقدمي أن مجموعة عقد الشك هي A,B,C,D ثم حذفت العقدة A بعد تطبيـق القطع αβ وفق العنصر a، فأصبحت عقد الشك هي B,C,D. وبعد تطبيق القطع α وفـق العنصر نفسه a أصبحت S هي B,C. ومن ثم تم تطبيق القطع γ فلم يسفر عن أي حذف وبناء عليه تم التقصي عن درجة تحقق العنصر r (وهو عنصر للتأكد) ومـن ثـم طُبـق القطعαβ وفقه فتم حذف العقدة B وبقيت العقدة C، ومن ثم فالتشخيص للحالة المدروسـة هو العقدة C. أما معاني الرموز المستخدمة في هذه الشجرة فهي بالشكل:

المعنى	الرمز
قطع αβ وفق العنصر a	a , αβ
قطع α وفق العنصر a	a , α
قطع γ	γ

نميز نوعاً من العناصر عن نوع آخر من خلال إضافة فاصلة موافقة إلى كل نـوع، لذلك فإن r,,,αβ تعني أن r هي عنصر من النوع الثالث، أما w,,αβ مثلاً فتعني أنـه تـم تطبيق القطع αβ وفق العنصر w الذي هو عنصر من النوع الثاني, أما a ، αβ فتعنـي أن a هو من النوع الأول.



الشكل(2) شجرة الاستدلال

الملحق(أ)

خوارزمية اختيار مجموعة جزئية من المجموعة S:

```
SelectNextSubSet ( S , level )
{     n = card(S)
      if (n > q)       throw("error")
      static  latest_n = n
      static  latest_level = level
      static  latest_index = 0
      static  bitsArray[2^n][n]
      if (latest_n ≠ n  ∨  latest_level ≠ level) ⇒ {
            latest_n = n
            latest_level = level
            latest_index = 0
      }
      for( j = latest_index      to      2^n − 1){
            bitsArray[j] = BinaryStateOf((2^n − 1) − j)
            if (number_of_bits_in(bitArray[j]) == level) ⇒ {
                  latest_index = j + 1
                  for(i = 0  to  n − 1)if (bitArray[j][i] == 1) ⇒
                  Subset = Subste   U{A_i}   break
            }
      }
return  Subset
}
```

مثال:

$card(S) = 5$

$level = 3$

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	
	1	1	1	1	1	
	1	1	1	1	0	
	1	1	1	0	1	
	1	1	1	0	0	$\checkmark \Rightarrow prod(R_3^{(1)}) = \{A_1, A_2, A_3\}$
	1	1	0	1	1	
	1	1	0	1	0	$\checkmark \Rightarrow prod(R_3^{(2)}) = \{A_1, A_2, A_4\}$
	1	1	0	0	1	$\checkmark \Rightarrow prod(R_3^{(3)}) = \{A_1, A_2, A_5\}$
$\xrightarrow{latest\_index=6}$	1	1	0	0	0	
	1	0	1	1	1	
	1	0	1	1	0	$\checkmark$
	⋮					

الملحق(ب)

كلـفة الخـوارزمية:

سنقوم بحساب سقف الكلفة الجبرية لخوارزمية الانتقـاء والتقـصي بالنـسبة لعـدد مجموعات التقاطع التي تحسب خلال كل مرحلة منها على حدة، ثم في مرحلتيها معاً.

الكلفـة في المرحلة الأولى:

- إذا طُبقت الخوارزمية عندما $n > q$ حتى استوفت كـل مجموعـات التقاطع الممكنة، أي حتى وصلت إلى مجموعة تقاطع مؤلفة من عقدتين, عندئذٍ يكون عدد مجموعات التقاطع هذه هو:

$$\sum_{i=n}^{2} 1 = \sum_{i=2}^{n} 1 = n - 1$$

ومن الواضح أن أكبر كلفة يمكن أن تصل إليها الخوارزمية في التكرار الواحد تحصل عندما تستوفى كل مجموعات التقاطع الممكنة. فإذا تم تقليص المجموعةS عند الوصـول إلى آخر مجموعة تقاطع (نتيجة تطبيق القطعين $\alpha - \alpha\beta$ وفق أحد عناصر المجموعة R_2) بمقدار عقدة واحدة، وتكررت هذه العملية حتى أصبح $n \le q$ عندئذٍ فـإن عـدد مـرات تكرار هذه العملية هو n_0 - q حيث n_0 هو عدد الابتدائي لعقد S (أي قبـل تطبيـق هـذه المرحلة من الخوارزمية)، والكلفة الجبرية لعدد مجموعات التقاطع المحسوبة ستكون أكبر ما يمكن، وتحدد بالشكل الآتي:

$$\sum_{n=n_0}^{q-1} n-1 = \sum_{n=q-1}^{n_0} n-1 = \left[\sum_{n=1}^{n_0}(n-1)\right] - \left[\sum_{n=1}^{q-2}(n-1)\right]$$

$$= \left[\frac{n_0(n_0+1)}{2} - n_0\right] - \left[\frac{(q-2)(q-1)}{2} - (q-2)\right]$$

$$= [\frac{n_0^2 + n_0 - 2n_o}{2}] - [\frac{q^2 - 3q + 2 - 2q + 4}{2}]$$

$$= [\frac{n_0^2 - n_o}{2}] - [\frac{q^2 - 5q + 6}{2}] \qquad (*)$$

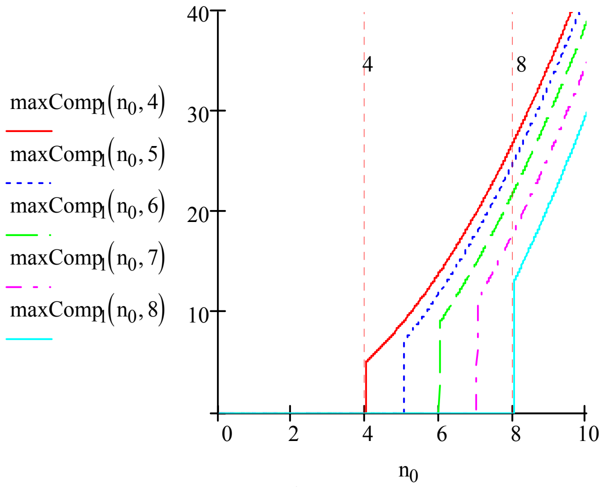
وذلك لأن $\sum_{i=1}^{k} i = \frac{k(k+1)}{2}$.

ونلاحظ أن max $Comp_1$ هي حدودية من الدرجة الثانية بالنسبة لـ n_0 المتغيرة و q الثابتة. مما يعني أن الكلفة في هذه المرحلة معقولة، ومن ثم فإن أداء الخوارزمية في هذه

المرحلة سيكون على الأقل مقبولاً. فإذا رمزنا لهذه الكلفة بـ $\max\ Comp_1$ عندئذٍ يكـون لدينا أن:

$$\max Comp_1(n_0, q) = [\frac{n_0^2 - n_o}{2}] - [\frac{q^2 - 5q + 6}{2}] \qquad (*)$$

وطبعاً في حال لم يصبح عدد عقد S > q في أثناء هذه المرحلة فـإن الخوارزميـة ستنتقل إلى مرحلة التحقق من العناصر المفتاحية لكل عقدة والتي لا تشمل على حساب أية مجموعة تقاطع، ومن ثم فهي لا تدخل في حساب الكلفة بالنسبة لعدد مجموعات التقاطع. الشكل (3) يوضح منحنيات الكلفة من أجل عدة قيم لـ q وهي الكلفـة القـصوى لعـدد مجموعات التقاطع في هذه المرحلة من الخوارزمية فقط أي ما دامت $q<n$.



الشكل (3) منحنيات سقف الكلفة من أجل عدة قيم لـ q للمرحلة الأولى

الكلفـة في المرحلة الثانية:

أما عند تطبيق الخوارزمية عندما $card\ (S) \leq q$ فإن الكلفة القصوى لهذه المرحلـة تحسب كما يأتي:

لنفرض أن الخوارزمية استوفت كل مجموعات التقاطع الممكنة من كـل المـستويات حتى وصلت إلى مجموعات تقاطع من المـستوى 2 (أي المجموعـات $R_2^{(r)}$) عندئـذٍ وبفرض n_1 هو عدد عقد S قبل تطبيق هذه المرحلة من الخوارزمية, فإن العدد الأعظمي لمجموعات التقاطع لكل المستويات هو:

$$\sum_{i=n_1}^{2} C_{n_1}^{i}$$

وذاك لأننا نعلم أنه في كل مستوى تقاطع i هناك C_n^i مجموعة تقاطع، على خـلاف المرحلة السابقة والتي لم يكن في كل مستوى تقاطع فيها إلا مجموعة تقاطع واحدة، ومن ثم:

$$\sum_{i=2}^{n_1} C_{n_1}^{i} = \sum_{i=0}^{n_1} C_{n_1}^{i} - (C_{n_1}^{0} + C_{n_1}^{1}) = 2^{n_1} - (n_1 + 1) \qquad (**)$$

أي أن الكلفة في هذه المرحلة من الخوارزمية هي كلفـة أسـية بالنـسبة لـ n_1 لأن التابع 2^{n1} أسرع من الحدودية n_1+1. فإذا رمزنا لهذه الكلفة بـ $\max\ Comp_2$ عندئذٍ يكون لدينا:

$$\max Comp_2(n_1) = 2^{n_1} - (n_1 + 1) \qquad (**)$$

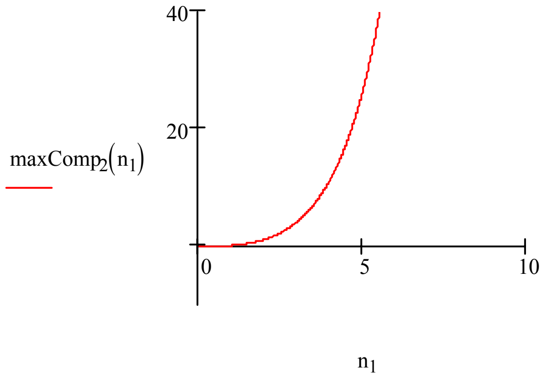
ولكن كيف يمكن لنا تطبيق خوارزمية بكلفة أسية؟

في الحقيقة رغم أن الكلفة أسية بالنسبة للمتحول n_1 إلا أن هذا المتحول مقيد بالعلاقـة المحددة لشرط تطبيق هذه المرحلة من الخوارزمية وهي $n_1 \leq q$، ومن ثم فإننا نـستطيع الإبقاء على هذه الكلفة بالحدود التي نراها مناسبة من خلال q، حيث إن أكبر قيمة يمكـن لهذه الكلفة أن تأخذها هي عندما تكون $q=n_1$، لأن $\max\ Comp_2$ تشكل تابعـاً متزايـداً بالنسبة لـ n_1 وأكبر قيمة يمكن أن تأخذها n_1 هي q. كما أن أصـغر قيمـة يمكـن أن تأخذها n_1 وتبقى من أجلها الخوارزمية مفيدة هي $n_1=2$ ومن ثم فالكلفة السابقة محـدودة بالعلاقة:

$$\begin{aligned}
2^2 - (2+1) \quad &\leq \quad 2^{n_1} - (n_1+1) \quad \leq \quad 2^q - (q+1) \\
1 \quad &\leq \quad 2^{n_1} - (n_1+1) \quad \leq \quad 2^q - (q+1) \\
1 \quad &\leq \quad \max Comp_2(n_1) \leq \quad 2^q - (q+1)
\end{aligned}$$

أي أننا نستطيع التحكم بالكلفة عن طريق تصغير أو تكبير q التي تعـد مـن ثوابـت ضبط النموذج. فلو اخترنا $q=4$ فإن سقف الكلفة لهذه المرحلة سيكون محدوداً بالعلاقـة $2^{n_1} - (n_1+1) \leq 2^4 - (4+1) = 11$ وهي كلفة متدنية، وتبقى الكلفة معقولة حتى $q = 8$ حيـث يكـون سـقف الكلفـة فـي هـذه الحالـة محـدوداً بالعلاقـة $\max Comp_2 \leq 2^8 - 9 = 247$. الشكل (4) يبين منحني سقف الكلفة لهذه المرحلـة من الخوارزمية وذلك على فرض أن العدد المبدئي لعقد الشك n_1 كان يحقـق $n_1 \leq q$.

ونؤكد هنا أن مثل هذه المنحنيات فقط لغرض تمثيل سقف الكلفة ذلك أن المتحول n_1 يأخذ قيمة من مجموعة الأعداد الطبيعية وليس من مجموعة الأعداد الحقيقية.



الشكل (4) منحني سقف الكلفة للمرحلة الثانية

الكلفـة الإجمـاليـة عند المرور بالمرحلتين:

في الحقيقة فإن سقف الكلفة المحسوب في الخطوة الأولى في العلاقة (*) يشكل جزءاً من الكلفة و ليس كل الكلفة إذ إن الخوارزمية بعد أن تمر بالمرحلة الأولى قد تستمر بعـد أن تصبح $q < card(S)$ غير محققة، لتنتقل إلى المرحلة الثانية. مما يعنـي أن سـقف الكلفة الإجمالية في حال كانت $q < n_0$ هو مجموع الكلفتين المحسوبتين في (*) و(**). أما في حال كانت $q \geq n_1 = n_0$ من البداية فإن العلاقة (**) وحدها تحدد سقف الكلفـة للخوارزمية. وسنحسب في هذه الفقرة سقف الكلفة لمجموع المرحلتين عندما $q < n_0$.

قلنا: إن سقف الكلفة عندما $q < n_0$ في المرحلة الأولـى هـو (*) وعنـدما تبـدأ الخوارزمية بالدخول في المرحلة الثانية فإن أعلى قيمة يمكن أن تأخذها هذه الكلفـة هـي عندما يكون عدد عقد S عند بداية الدخول في المرحلة هو q أي $n_1 = q$, ومن ثم فسقف الكلفة الإجمالية للمرحلتين عندما $q < n_0$ هو:

$$\max Comp_1(n_0, q) + \max Comp_2(q) =$$

$$\left(\frac{n_0^2 - n_o}{2} - \frac{q^2 - 5q + 6}{2}\right) + \left(2^q - (q+1)\right)$$

$$\frac{n_0^2 - n_0 + 2^{q+1} - (q^2 - 3q + 8)}{2}$$

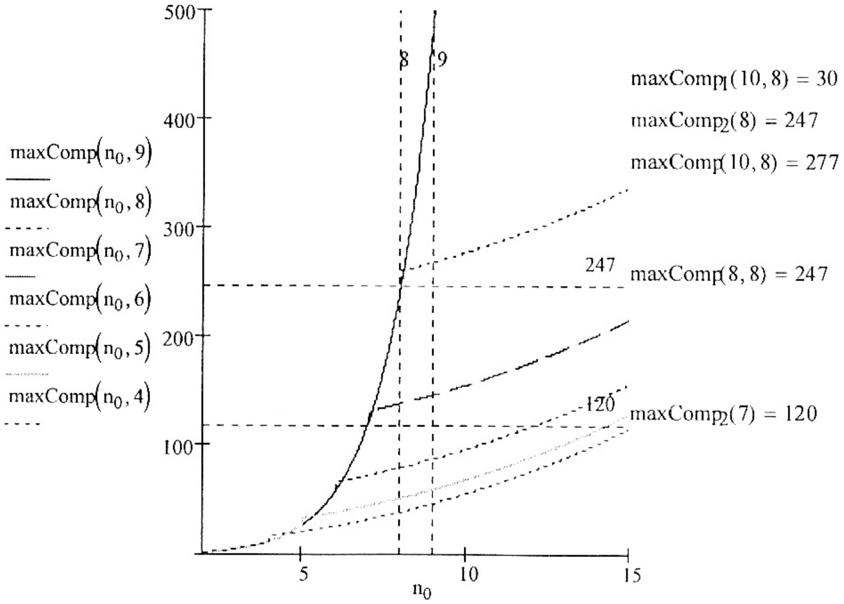
وهي العلاقة التي تحسب لنا سقف الكلفة لهذه الخوارزمية في حـال كانـت $q < n_0$, ونلاحظ أنها حدودية من الدرجة الثانية بالنسبة لـ n_0 (العدد المبدئي لعقد S) وهي أسية

بالنسبة لـ q، ونظراً لأن q ستكون ثابتة في النظام الذي سيستخدم هذا النموذج وn_0 هي المتغيرة فإن سقف الكلفة سيكون له شكل حدودية من الدرجة الثانية بالنسبة لـ n_0 ممـا يعني أننا نستطيع جعل الكلفة الإجمالية صغيرة أو معقولة.

الكلفـــة النهائيـة:

مما سبق نجد أن تابع سقف الكلفة النهائية له الشكل الآتي:

$$\max Comp(n_0, q) = \begin{cases} \max Comp_1(n_0, q) + \max Comp_2(q) & when \quad n_0 > q \\ \max Comp_2(n_0) & when \quad n_1 = n_0 \le q \end{cases}$$



الشكل (5) منحنيات سقف الكلفة النهائية من أجل عدة قيم لـ q

REFERENCES المراجـع

[1] Jackson, P.. (1999) *Introduction to Expert Systems* , England: Addison Wesley.

[2] Leondes, T., (1999) *Fuzzy Logic and Expert Systems Applications* , London: Academic Press.

[3] Durkin, J., (1994) *Expert Systems: Design and Development* , New York : Macmillan.

[4] Bratko, I., (1990) *Prolog Programming for Artificial Intelligence* , England:

[5] Goonatilake, S., and Khebbal S., (1995) *Intelligent Hybrid Systems* , England: John Wiley & Sons.

[6] Klir, J., and Folger, A., (1992) *Fuzzy Sets, Uncertainty, And Information* , New Jersey: Prentice-Hall International Editions.

[7] Kaufmann, A., (1975) *Theory of Fuzzy Subsets*, New York: Academic Press.

[8] Altahan, A., (2003) *Fuzzy Correspondence and Difference*, Damascus University, Damascus.[submitted, but has not been published yet].

[9] Lawrence, M. et al., (2000) *Current, Medical Diagnosis and Treatment* , New York: Lange Medical Books.