مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (5) العدد(7) 2021

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (5) No. (7) 2021

# "تحسين تحويل الأوتومات NFA إلى DFA مختزل"

**د. م. جعفر سلمان ***

**م. لودي يعرب ديوب****

**(تاريخ الإيداع 19/ 5 /2021 . قُبِل للنشر في 9 /8 /2021 )**

**□ ملخّص □**

لقد تطرقت عدة أبحاث لإختزال زمن التحليل النحوي لعبارة الدخل وتوجيه حركة الكائن بين مختلف الأوضاع وذلك بتحويل الأتومات اللانهائي NFA إلى نهائي DFAولكنها لم تعالج مشاكل مثل سلوك نفس المسارات ولأكثر من مرة و الانتقال العشوائي بين مختلف الأوضاع وكذلك استخدام الاستدعاء الذاتي الذي قد يسبب بتنفيذ لانهائي .

في هذا البحث اقترحنا استخدام توابع الانتقال الشرطي لتحويل الأتوماتNFA إلىDFA مختزل وذلك بغية حل المشاكل المذكورة أعلاه.

**كلمات مفتاحية** –" محرف دخل، تابع انتقال مشروط ، عقدة ، NFA، DFA ."

* مدرس في قسم هندسة تكنولوجيا المعلومات– كليّة هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات– جامعة طرطوس– سوريا

** طالبة ماجستير في قسم هندسة تكنولوجيا المعلومات– كليّة هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات– جامعة طرطوس– سوريا

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (5) العدد(7) 2021

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (5) No. (7) 2021

# "DEVELOPMENT OF THE CONVERTING NFA TO DETERMINISTIC DFA."

**Dr. Japhar Anwar Salman***
**Eng. Loudy Yaroub Dayoub****

**(Received 19 / 5/ 2021 . Accepted 9 / 8 / 2021)**

**□ ABSTRACT □**

In this paper, Many researches try to convert NFA to minimized DFA and minimize the required time for syntactic analysis of inputstring and control the transitions of the object between different situations but many problems as passing the same paths and randomly automats transition to selecting of next situation to be visit and using recursion which can cause unlimited operations.

In this paper we recommended using of the conditional transition functions for solving the above mentioned operations.

**Keywords** —"input character ،conditionaltransition function ,vertex ,NFA ، DFA".

*Dr in Department of Information Technology, Faculty of Information and Communication Technology Engineering, Tartous University,Syria.

**Master student at Information TechnologyEngineering Department, Information and Communication TechnologyEngineering, Tartous University, Syria

## 1. المقدمة:

لقد تطرقت عدة أبحاث لتحويل الأتومات NFAإلىDFA وذلك بغية اختصار زمن التحليل النحوي لكنها لم تتوصل الى أتومات DFA مختزل مما قد يتسبب بإعادة تنفيذ نفس العمليات وسلوك نفس المسارات وهدر المزيد من الزمن وبالتالي فان استخدام هكذا نوع من الأتوماتونات (في التحليل النحوي أو في توجيه حركة كائن أو في التعليم المؤتمت أو التعرف على النماذج)لم يحقق النتائج المرجوة [4][2][8].

لم تعالج الدراسات آلية التنبؤ بالمسار الأفضل للأتومات مثلا" وتكرار نفس المسارات وبقيت الكثير من المشاكل العالقة دون حل وخاصة في إدارة التحكم بمختلف الكائنات الموجهة ولحل هذه المشاكل استخدمت الشبكات العصبونية والتحكم الخطي ...الخ إلا أن جميع الطرق المتبعة كانت تعتمد على اتخاذ القرار بنقل الأتوماتمن الوضع الحالي لآخر جديد غير آبهه غالبا بالطريق المسلوك لبلوغ هذا الوضع والمطلوب إيجاد تحكم ديناميكي يتلاءم مع بارامترات كل كائن موجه مهما كان نوع العملية المنفذة ويختصر زمن التحكم[3][9].

**الأتومات:** هو آلة مجردة تعمل وفق أسس يحددها النحو الشكلي المستخدم من قبلها وتقوم بإنشاء (تركيب )هيكل أو نموذج مناظر لكائن الدخل (عبارة–جملة–صوت–.....الخ) وذلك بإستخدام قواعد شكلية خاصة فإذا كانت نتائج عملية التركيب هذه مطابقة لكائن الدخل ( عبارة الدخل) تكون صحيحة وخلافاً لذلك فإن الكائن يعتبر غير صحيح. وبتعبير آخر إذا كان كائن الدخل الذي يركبه الأتومات هو أحد عناصر اللغة التي يولدها النحو الشكلي المستخدم فإن نموذج كائنالدخل يعتبر صحيحاً ويقال بأن الأتومات يمرره مستخدماً توابع الانتقال وبالتالي فالكائن صحيح وخلافاً لذلك فالكائن غير صحيح[8][2].

وبتعبير آخر فإن الأتومات هو الآلة الشكلية التي تستخدم للتعرف على مجموعة سلاسل محرفيه المكونة للغة الشكلية ويرمز بها بالرمز T(A) حيث العلاقة:

$$L(G)=T(A)$$

أي أن الأتومات يمرر اللغة T(A) و المطابقة تماماً للغةL(G) التي يمكن توليدها بإستخدام النحو الشكلي G وبمعنى آخر فإن قواعد تركيب أي مفردة من مفردات الدخل للأتومات T(A) يقابلها قواعد الاشتقاق المستخدمة في النحو الشكلي المولد للغة [8] L(G) .

نميز نوعان من الأتومات نهائيDFA (DeterminsticFinite Automata)وغير نهائي (Non Deterministic Finite Automata) NFA:

### 1-1.الأتومات النهائي( Finite AutomataDeterminstic )DFA:

عندما يكون الأتومات في الوضع $q_0 \in$ Q} فإنه ينتقل إلى الوضع الجديد وليكن{ $q_1 \in$ Qمن أجل محرف ما.

يعرف الأتومات النهائي A بخمسة عناصر كالتالي:

$$A=(\sum, Q, \delta, q_0, F) \quad (1)$$

حيث أن:

$\sum$– مجموعة نهائية لمحارف الدخل (أبجدية الدخل).

Q – مجموعة نهائية للأوضاع التي قد يشغلها الأتومات (تملك عقد أبناء).

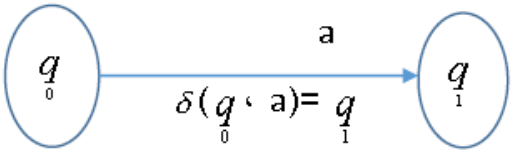
$q_0$–الوضع الأولي الذي يشغله الأتومات (المنطلق) حيث أن: $q_0 \in Q$.

$\delta$– تابع تحديد الوضع التالي الذي سيشغله الأتومات عندما يكون الدخل سلسلة محرفية ما (وقد تكون سلسلة فارغة طولها $\lambda = 0$ ) ونعبر عن ذلك بالعلاقة :

$$\delta(q_0 ، a) = q_1$$

$F \in Q$ –مجموعة الأوضاع النهائية التي قد يشغلها الأتومات (لا تملك عقد أبناء) وتعني أنه من أجل أي محرف دخل وليكن $a \in \sum$ وعندما يكون الأتومات في وضع ما وليكن $q_0 \in Q$ ينتقلالأتومات إلى الوضع $q_1$

$\in$ Qونعبر عن ذلك بالتابع $\delta(q_0 ، a) = q_1$ كما في الشكل (1)التالي:




شكل(١).

عندما يشغل الأتومات الحالة (الوضع) $q_0$ و يكون كائن الدخل بشكل سلسلة محرفية مثل( $x\alpha$) فإن الوضع التالي لآلة الأتومات سيحدد وفق الآتي:

$$\delta(q_0، xa) = \delta(\delta(q_0،x),a) \qquad (2)$$

حيث أن : $x \in \Sigma^*, \alpha \in \Sigma$

أي أن آلة الأتومات وهي في الوضع$q_0$ ويكون محرف الدخل x سينتقل إلى الوضع$q_1$ أي$q_1$ =( $\delta(q_0،x)$ ( تنفذ الأقواس الداخلية أولاً ) وفي الوضع الجديد$q_1$ وعندما يكون محرف الدخل الثاني" a "فان الأتومات سينتقل إلى وضع آخر جديد وليكن $q_2$ولنفرض أنه وضع نهائي أي أن $F \in q_2$ ونعبر عن ذلك بالعلاقة التالية: $\delta(q_1، a) = q_2$

في هذه الحالة يقال بأن الأتومات A يمرر السلسلة xa اذا كان الوضع الأخير الذي سيشغله الأتومات وضع نهائي .

إن مجموعة السلاسل المحرفية (اللغة) T(A)التي يمررها الأتومات A تحدد وفق العلاقة الآتية:

$$T(A) = \{ X \mid \delta(q_0, x) \in F \}$$

ومن الواضح أن الإنتقال من الوضع $q_0$ إلى وضع آخروليكن $q_1$ليس بالضرورة أن يؤدي هذا المسار الذي سيسلكه الأتومات سيؤدي إلى وضع (عقدة) نهائية لا رجوع منها نتيجة الإنتقال الخاطئ أي انه مازالت مشكلة الاقتفاءBacktracking قائمة[6][5].

2-1 الأتومات **اللانهائي** (**Non NFA**) **deterministic finite Automata**:

شبيه بالأتومات النهائي DFA وبجميع عناصره ماعدا تابع تحديد الوضع التالي الذي يحدد بالعلاقة الآتية :

$$\delta(q_0, a)=\{q_1, q_2, \ldots\ldots q_n\}$$

وهذا يعني أن الأتومات A عندما يكون في الوضع $q_0$ و من أجل الدخل "a" ينتقل إلى إحدى الأوضاع $q_1,q_2,\ldots\ldots q_n$

وبشكل عام يمكن التعبير عن ذلك بالعلاقة:

$$\delta(q_0, x\,a)= U_{qi}(a\,q_0\,q_1) \qquad (3)$$

حيث أن:

$q_i \in \delta(q,x)$

$x \in \sum^*$ , $a \in \sum$

وعليه فإن:(4) $\delta(\{q_1, q_2, \ldots\ldots, q_l\},x)= U_{i=1}^{l} (q_i,x)$

وبالتالي فاللغة التي يمررها الأتومات NFA اللانهائي A هي:

$$T(A)=\{x|p \in \delta(q_0,x), p \in F\} \qquad (5)$$

صحيح أن عدد الحالات التي يمكن أن ينتقل اليها الأتومات كبير جداً مما يسمح معه بتمرير أعداد كبيرة أيضاً من مفردات شكلية يسمح معه بالتعرف على أعداد كبيرة من نماذج الدخل إلا أن ذلك قد يسبب الإنتقال إلى أوضاع ثانوية خاطئة وقد تصادف محارف ثانوية غير متواجدة في عبارات الدخل أصلاً مما يسبب تنفيذ عدة إنتقالات عشوائية بين مختلف الأوضاع (العقد)الذي يجعل عملية التحليل النحوي عملية طويلة وغالباً لا تؤدي إلى أية نتائج وقد تكون هذه العمليات لانهائية علماً أنه لدى كل إنتقال خاطئ يجب الرجوع إلى الوضع السابق واختيار وضع تالي آخر وهكذا بالإضافة لذلك إن عدد مرات الرجوع إلى الوراء سيشكل تابعاً أسياً من أجل عدة أوضاع قد يشغلها الأتومات (تمثل كل منها بعنصر ثانوي لانهائي)[4][3] .

لذا بات من الضروري المحافظة ما أمكن على عدد الأوضاع الكبيرة التي قد يشغلها الأتومات اللانهائي و بتعبير آخر المحافظة على اللغة القوية الضخمة وتقليل عدد مرات الرجوع إلى الوراء BackTracking (الإقتفاء)لدى كل إنتقال خاطئ للأتومات وزيادة مردود الأتومات في التعرف على شريحة واسعة من السلاسل المحرفية وإلغاء مشكلة التنفيذ الخاطئ ما أمكن ذلك وبالتالي إختصار زمن التعرف على سلسلة دخل محرفيه ما[1][8].

إن كل قاعدة اشتقاق ولتكن $S \longrightarrow \alpha B$ يقابلها تابع إنتقاللأتومات وليكن $\delta(S,a)=B$ يحدد الأتومات الوضع التالي الذي سيشغله وليكن B عندما يكون محرف الدخل النهائي $\alpha$ مثلاً أما اذا كان لدينا قواعد النحو الشكلي الآتية:

$S \longrightarrow \alpha Z$

$S \longrightarrow \alpha A$

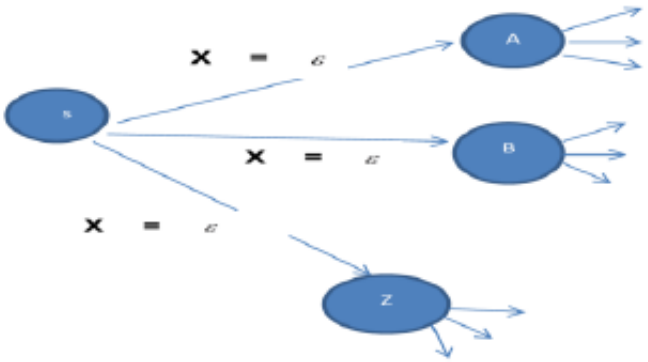
$S \longrightarrow \alpha B$

فهذا يقابله تابع تحديد الوضع التالي للأتومات NFA كالتالي :

$$\delta(S,\alpha)=\{A,B,Z\}$$

أي أن الأتومات اللانهائي يستطيع أن يشغل إحدى الأوضاعZ.....,A,B{ }

عندما يكون محرف الدخل "α" بطريقة لا تؤدي إلى الوضع النهائي وبالتالي فاختيار المسار قد يكون خاطئ أي إن الأتومات اللانهائي يمكنه الإنتقال من العقدة المنطلق ولدى الدخل $X=\alpha \in \sum$ (وقد تكون سلسلة فارغة طولها $\lambda=0$ ) إلى أياً من قائمة العقد التالية المتاحة $\{A,B,...,Z\}$ويتم الإنتقال من عقدة لأخرى وصولاً لعقدة نهائية في نهاية المسار المنتخب والذي قد يكون أصلاً خاطئ وبالتالي يجب الرجوع للوراء إلى العقدة الأب و تجريب بقية الأوضاع هل تؤدي إلى نتيجة صحيحة وبنفس الآلية يتم تجريب بقية المسارات وقد يتم زيارة جميع العقد الأبناءوبشكل خاطئ وعندئذٍ يجب الرجوع إلى الوراء backtracking ولدى كل زيارة وقد يتم زيارة جميع العقد المتاحة الأبناء وبدون فائدة أي أن (عبارة الدخل غير صحيحة) ويمثل الأتومات اللانهائي كالتالي شكل (2)[7][6]:




**شكل(2)أتومات لا نهائي ذو دخل (ε)**

وفقاً لهذه البنية يستطيع الأتوماتاالإنتقال من العقدة المنطلق ولتكن "S"إلى إحدى العقد A,B,.....,Z ومن أجل الدخل $X=\varepsilon$ ( $\varepsilon$ سلسلة محرفية فارغة) ونميز حالتين:

a) المسار المختار **صحيح** :

الانتقال من العقدة S (الجذر)إلى أحد العقد الأبناء ولتكن (A) وكان هذا الإنتقال صحيحاً أي تم زيارة بداية المسار الصحيح(الهدف) [6][2].

b) المسار المختار **خاطئ**:

الانتقال إلى العقدة الأبن التالية المتاحة ولتكن"B"ومن أجل الدخل $\varepsilon$والتي قد تؤدي في عقدة ما من المسار المتاح إلى نتيجة خاطئة وعندئذ يجب الرجوع للعقدة الأب وهكذا حتى نفاذ جميع العقد وتنفيذ عدد كبير جداً من عمليات الرجوع إلى الوراء حتى بلوغ بداية المسار والرجوع إلى العقدة المنطلق"S"ومن ثم إعادة اختيار مسار آخر يبدأ من عقدة ابن ولتكن "Z "وبنفس الآلية و هنا قد تكون نتيجة التحليل النحوي لعبارة الدخل سلبية (عبارة الدخل لا يمكن التعرف عليها وفق توابع الإنتقال الموجودة) وفي هذه الحالة يكون الأتومات قد انتقل بين جميع العقد المتاحة ونفذ عملية الرجوع إلى الوراء عند كل إنتقال خاطئ مما يؤدي لعدم التعرف على عبارة الدخل الذي يسبب زيادة زمن التحليل النحوي لعبارة الدخل وبشكل أسي بين عقد المخطط Graph الذي قد يسلكه الأتومات[8][7] .

## 2.أهداف البحث:

يهدف البحث لتحويل الأتوماتNFA إلى DFA مختزل وبإستخدام توابع الإنتقال المشروطة واستخدامه في تنفيذ التحليل النحوي للتعرف على عبارة الدخلوتوجيه الكائناتوالتنبؤ بالمسار الأمثل للكائن ونقله إلى الوضع التالي مع مراعاة جميع الأوضاع السابقة لمختلف العقد واختصار زمن التوجيه لبلوغ الكائن الهدف المرجو وإستبعاد النقل العشوائي بين أوضاع التحكم الممكن أن يشغلها الأتومات.

## 3.منهجية البحث:

لقد تطرقت عدة أبحاث لتحويل الأتومات اللانهائي NFA إلى أتومات نهائي وبإستخدام خوارزميات معقدة و متعددة المراحل ولكن الأتومات الناتج بقيDFA غير مختزل وبقيت معه عدة مسائل دون حل نذكر منها تكرار نفس المسارات التي قد يسلكها الأتومات ومشكلة الرجوع إلى الوراء Backtracking عند التنفيذ الخاطئ لتوابع الإنتقال بين الأوضاع التي قد يشغلها الأتومات وكذلك الإنتقاء العشوائي لتوابع إنتقالالأتومات ومعالجة سلسلة الدخل الفارغة والتي تؤدي إجمالاً لزيادة زمن التحليل النحوي لعبارة الدخل وإنخفاض مردودها بشكل ملحوظ.

وبغية إلغاء الإنتقال العشوائي هذا والمحافظة على قوة اللغة التي يمررها الأتومات NFA اللانهائي وليكن T(A)حيث يمكن تأمين إنتقالالأتومات من نفس الوضع ومن أجل نفس الدخل إلى إحدى مجموعة الأوضاع ولحل هذه المسألة يمكن وبدلاً من استخدام تابع إنتقال يعتمد على مجموعة قواعد الإشتقاق للنحو الشكلي الحر يمكن استخدام تابع إنتقال $\delta()$ يعتمد على مجموعة قواعد إشتقاق يخصص كل منها بعبارة شرطية (علائقية–حسابية– منطقية–بولیانية أو مزيج منها) وإذا كانت هذه العبارة صحيحة يتم استخدام تابع الإنتقال المحدد وخلافاً لذلك يتم البحث عن تابع إنتقال آخر $\delta()$ ذو عبارة شرطية محققة أي أن تابع الإنتقال للأتومات اللانهائي يأخذ الشكل التالي:

$$\delta(S,a,r_i)=\{C,D,\ldots\} \qquad (6)$$

إذا كانت العبارة الشرطية$r_i$ محققة ومن أجل محرف الدخل$a\in\sum$ يتم الإنتقال من الوضع S إلى وضع واحد من مجموعة الأوضاع وليكن "C" حيث أن:

$$(S,C\in V_n)$$

فإذا كانت العبارة الشرطية المرفقة$\overline{r_i}_{i=1\sim n}$لكل تابع إنتقال $\delta()$للأتومات اللانهائي محققة يتم الإنتقال إلى إحدى الأوضاع المحددة الذي يحدده هذا التابع وخلافاً لذلك يتم البحث عن عبارة شرطية $r_i$محققة ليتم استخدام تابع الإنتقال المرفقة به حيث يشغل الأتومات وضع جديد يحدده العنصر الثانوي المستخدم في تابع إنتقالالأتومات وقد يكون الوضع الذي سيشغله الأتومات هو نهائي terminal يقابلها الوريقة في شجرة التحليل النحوي الثنائية (لا يسمح الإنتقال منه إلى أي وضع آخر) وفي هذه الحالة يتعرف الأتومات على السلسلة المحرفية المقابلة لهذا الوضع.

عندما لا توجد أي عبارة شرطية $r_i$محققة فإن عبارة الدخل تكون خاطئة و مرفوضة أي الأتومات لا يستطيع تمريرها لأنها لا تنتمي اصلاً إلى اللغة التي يمررها, $T(A)_{i=1\sim n}$ أي أن عبارة الدخل لا يمكن بناء نموذج مماثل لها وذلك وفق توابع قواعد الإنتقال لديه وبالتالي فهي خاطئة ولا يمكن تمريرها والأتومات في هذه الحالة لن يتعرف عليها أي أن عبارة الدخل خاطئة.

لقد جرت عدة محاولات لإلغاء العشوائية في إنتقالالأتومات بين العقد المتاحة وإختصار زمن التحليل النحوي لعبارة الدخل وذلك بتحويل الأتومات اللانهائي NFA إلى نهائي DFA إلا أن هذه المحاولات كانت متواضعة وأدخلت بعض التحسينات ولكن دون إيجاد حل جذري حيث بقيت الكثير من المشاكل عالقة ودون حل ولمعالجة هذه المشاكل نقترح الآتي:

بفرض كان لدينا أتومات لانهائي NFA ذو N عقدة فعند تحويله إلى أتومات نهائيDFA وفق أحدث الخوارزميات [] فإننا نحتاج ل $2^N$ خط ارتباط مما يجعل معه مخطط الإنتقال معقد جداً لأن كل خط ارتباط يجب أن يمثل بتابع إنتقال ما علماً أن المخطط الناتج ليس مختزل لوجود عدة خطوط ارتباط بين نفس عقد المخطط وإهمال الحالة عندما تكون عبارة الدخل المتعلقة بخط الإرتباط هي سلسلة فارغة $\varepsilon$مع الإشارة إلى أن استخداماالإستدعاء الذاتي سيجعل المخطط أكثر تعقيداً.

وبغية حل هذه المشاكل الأساسية نقترح ربط كل تابع إنتقال للأتومات من وضعية لآخرى بتحقق عبارة بوليانية ما حيث أن كل خط ارتباط يرفق بتابع إنتقال مشروط واحد وهذا يلغي بدوره تكرار نفس خطوط الإرتباط بين عقد المخطط Graph وبالتالي فهو مختزل وعدد خطوط الارتباط N فيه تماماً تبقى على حالها وبذلك يحافظ الأتومات على تنوع وقوة اللغة التي يمررها ويقلل بالتالي من زمن تمرير سلسلة محرفية ما ويزيد من فعالية عملية التحليل النحوي لعبارة الدخل.على ضوء ذلك يمكن للأتومات اللانهائي NFA و انطلاقاً من الوضع الأوليSالإنتقال إلى إحدى الأوضاع A,B,.....Z عندما يكون محرف الدخل $\alpha\sum\in$ وذلك عند تحقق العلاقة الشرطية $r_{i=1\sim n}$ ، $r_i$الذي يحدد الوضع التالي للأتومات ويمكن التعبير عن ذلك وفق الآتي:

$\delta_1(s,\alpha,r_1)=\{A\}$ ,$r_1 : l=c_1 \& T=t_1$

$\delta_2(s,\alpha,r_2)=\{B\}$ ,$r_2 : l = c_2 \;||\; T<t_2$

..... .....

$\delta_n(s,\alpha,r_n)=\{Z\}$ ,$r_n : l = c_n \& T=t_n$

حيث أن:

l:طول المسار المسلوك.

$t_1,t_2,c_1,c_2$:ثوابت عددية محددة.

S–العنصر المنطلق.

$\alpha \in \sum^*$ – محرف الدخل وللمحافظة على قوة اللغة التي يمررها الأتومات$T(A)_i$ حيث إن الأتومات يمكنه تمرير العبارة$\alpha\in\sum$ ( وقد تكون سلسلة فارغة $\varepsilon$ ) والإنتقال إلى أحد الأوضاع A,B,...Z ومن أجل نفس محرف الدخل α.

أي أنه يتم وفق ذلك الإنتقال من الوضع "S" إلى الوضع "A" إذا وفقط إذا كانت $r_1$=True وإذا لم تكن محققة $r_1$ =False يتم التحقق من العبارة الشرطية التالية $r_2$ هل هي محققة إذا كانت الجواب بنعم يتم استخدام تابع إنتقال العبارة الشرطية الثانية :

$$\delta_2(s,\alpha,r_2)=\{B\} \quad (7)$$

وعندما تكون العبارات $r_1$&$r_2$ غير محققة يستمر البحث عن علاقة محققة $r_{i\,i=1\sim n}$ ليتم استخدام تابع الإنتقال المرتبط بها لتحديد الوضع التالي وليكن H وفي الوضع المنطلق الجديد(العقدة الأبن) H يتم التحقق من وجود عبارة شرطية محققة لتحديد الوضع التالي(العقدة الأبن) المنطلق الذي سيشغلها الأتومات وعندئذٍ يصبح الوضع الجديد(عقدة حفيدة) وليكن W هو الوضع الحالي المنطلق وتستمر هذه العملية طالما كانت العبارات الشرطية المناسبة محققة حيث يخصص كل تابع إنتقال للأتومات بعبارة شرطية فريدة أي أن :

$$r_1 \neq r_2 \ldots\ldots \neq r \quad (8)$$

يتم استخدام توابع الإنتقال ذات العلاقات المحققة وذلك وصولاً إلى المحارف النهائية(الوريقات) Terminal التي لا يمكن أن تُستخدم لإشتقاق أي محرف آخر ونعبر عن ذلك بالعلاقة :

$$\delta(T,B)=\phi$$

حيث أن $T\in V_T$ وضع يقابله محرف نهائي ما.

B – محرف دخل ما.

وهذا يعني أن الأتومات الذي يشغل وضع يقابله محرف نهائي وليكن"T" ومهما كان محرف الدخل وليكن "B" فإن مجموعة الأوضاع التالية التي قد يشغلها الأتومات اللانهائي هي مجموعة خالية $\phi$.

**2.4 توابع الإنتقال المشروط:**

ومن جهة اخرى إن استخدام توابع الإنتقاللللأتومات المعتمدة أصلاً على أنواع النحو الشكلي الكلاسيكي تحد من إمكانية الإنتقال إلى عدد كبير نسبياً من الأوضاع اللانهائية وعند زيادة عدد محارف سلسلة الدخل فإن زمن التحليل النحوي لها سيزداد بشكل أسي ويصعب معه كتابة برامج ولتنفيذ عملية التحليل النحوي والذي يتطلب زمناً كبير وفي بعض الأحوال قد لا يتعرفالأتومات على سلسلة الدخل أصلاً وبالتالي تكون قد نفذت عدة عمليات إنتقال عشوائية غير دقيقة وفي الغالب تؤدي لنتائج غير صحيحة وإضاعة المزيد من الوقت لإنجاز التحليل النحوي المطلوب (تمريرها بالأتومات).

إن استخدام توابع الإنتقال المشروطة لتحديد الوضع التالي للأتومات إلى الوضع التالي(العقدة الأبن) و بإستخدام فكرة التوريث (الإستدعاء الذاتي ) ايضاً يفتح آفاق جديدة أمام تركيب وتحليل نماذج معقدة لسلسلة الدخل وبالتالي تمرير لغات ضخمة جداً وبإستخدام عدة توابع إنتقال بسيطة البنية ويمكن تمييز الأنواع الرئيسية لتوابع الإنتقال المشروطة( $\delta_i(S,a,r_i)$ :

1 –تكرار زيارة نفس العقدة(الإستدعاء الذاتي).

2–الإنتقال إلى (زيارة)عقدة ابن.

3–الإنتقال إلى عقدة ابن نهائية (وريقة).

4–الإنتقال المشروط لزيارة أي عقدة ابن أو حفيدة أومن أية درجة قرابة..

❖ وحسب نوع إنتقالالأتومات(A)Tمن وضع (عقدة أب)لآخر نميز الأنواع التالية لتوابع الإنتقال $\delta()$ وهي:

**1 -3-تابع الإنتقال المباشر للأتومات $\delta_i$(S, $a_1$ , $r_{i,j}$ )من عقدة أب (جذر) ولتكن "S" (الوضع المنطلق)إلى عقدة ابن ولتكن "A":**

وذلك من أجل الدخل X= $\alpha 1$ (سلسلة محرفيه وقد تكون فارغة $\lambda = 0$ ) عند تحقق العبارة المشروطة :

$r_{1,1}$(l=$c_1$&& T!=$t_1$=true) (9)

حيث تعتبر هذه العلاقة محققة إذا تحققت شروطها الجزئية أي l=$c_1$ لنفرض أن( l طول المسار المسلوك) و T!=$t_1$ وزمن الزيارة للعقدة لا يساوي $t_1$ حيث أن :

$t_1$, $c_1$ ثوابت عددية موجبة إختياريةوالتابع $\delta()$ يحدد وفق الصيغة التالية:

$\delta(s,\alpha_1,r_{1,1})=\{A\}$ (10)

مع الإشارة إلى أن المجموعة A والتي تمثل قائمة العقد التالية التي يمكن زيارتها هي وحيدة العنصر وتمثل ذلك بيانياً وفق الشكل(3) الآتي:

**شكل(3)تابع الإنتقال من عقدة جذر S إلى عقد ابن A**

والشكل(3) يعني أن الأتومات(A)T ينتقل من العقدة الأب (الجذر)الوضع S إلى العقدة الأبن الوضع A من أجل الدخل$X=\alpha_1$وإذا وفقط إذا تحقق الشرط $r_{1,1}$=True ولدى متابعة التحليل النحوي لعبارة الدخل تلعب العقدة A دور العقدة الأب بالنسبة للعقد الأبناء التالية المرتبطة بها بشكل مباشر.

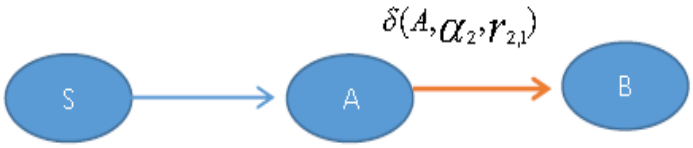
**2-3 تابع الإنتقال المشروط $\delta_{A\to B}$() من العقدة الأب (الأبن السابق) ولتكن" A" إلى العقدة الأبن(الحفيدة) ولتكن "B":**

من أجل الدخل X= $a_2$ وعند تحقق الشرط :

$r_{2,1}$ : ( $l=c_2$&& $t=t_2$)  (11)

حيث أن:ثوابت عددية موجبة اختيارية.$T_i, c_i, i=1...n$

وبالتالي فإن تابع الإنتقال يحدد بالعلاقة{B}= $\delta(A,\alpha_2,r_{2,1})$ ويمكن تمثيل ذلك كما في الشكل(4 ):




شكل(4)تابع الإنتقال من العقدة الأبA إلى العقدة الابن B(الحفيدة)

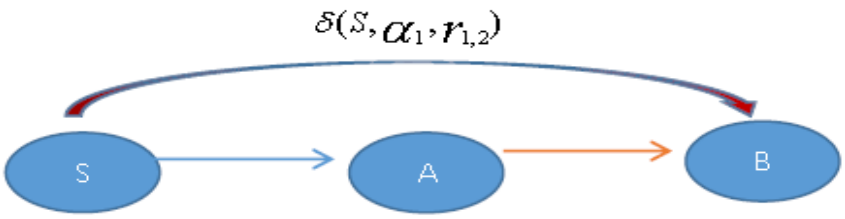
**3-3 تابع الإنتقال المشروط ()** $\delta_{S\to B}$ **من العقدة الجذر S إلى عقدة حفيدة ولتكن B:**

من أجل الدخل $X=\alpha_1$ وعند تحقق الشرط التالي :

$T=t_3$ (12) $l=C_3r_{1,2}$ :(&&)

$C_3$،$t_3$: ثوابت صحيحة موجبة اختيارية.

حيث أن تابع إنتقالالأتومات يحدد كالتالي:{B}=$\delta(S,\alpha_1,r_{1,2})$ وكما تلاحظ إن عبارةالدخل في هذه الحالة $X=\alpha_1$ هي نفس الدخل في الحالة الأولى ولكن من أجل شرط آخر وهو $r_{1,2}$ حيث يتم عندئذٍ الإنتقال إلى العقدة الحفيدة ويمكن تمثيل ذلك كما في الشكل(5):




**شكل(5)تابع الإنتقال من العقدةS إلى العقدة الحفيدةB**

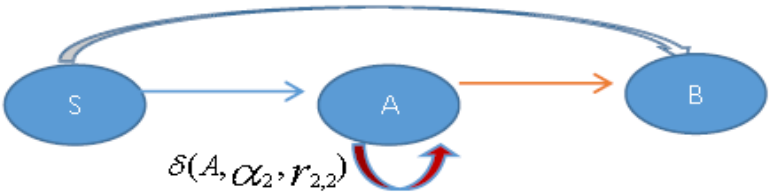
**3-4 تابع الإنتقال** $\delta_{rec}()$ **بإستخدام مبدأ الإستدعاءالذاتي (التوريث):**

من أجل نفس عبارة الدخل ولتكن$x=\alpha_2$ يبقى الأتومات في نفس الوضع وليكن A ما دام الشرط محقق :

$r_{2,2}(l=c_4$&& $t<t_4)$

ونعبر عن ذلك $\delta(A,\alpha_2,r_{2,2})$={A} بالصيغةونعبر بيانياً عن ذلك كما في الشكل (6)التالي:

$C_4$،$t_4$: ثوابت عددية صحيحة موجبة.



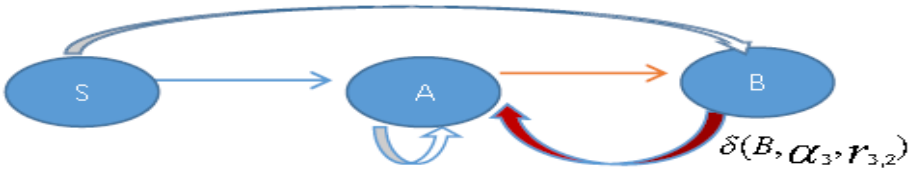

شكل (6)الإستدعاء الذاتي

**5- 3 تابع الإنتقال () $\delta_{B\to A}$ من العقد الأبن (الحفيدة)B إلى عقدة مغايرة للجذر ولتكن العقدة الأب "A":**

ولتكن A من أجل الدخل $X=\alpha_3$ وعند تحقق الشرط : $r_{3,2}$:L >=$C_5$(&&T=$t_5$ )

$C_5$،$t_5$: ثوابت عددية صحيحة موجبة.

حيث أن :{A}= $\delta(B,\alpha_3,r_{3,2})$




**شكل (7)الإنتقال من عقدة حفيدةB لعقدة أب Aليست جذر.**

الأتومات(T(A الذي يشغل العقدة الحفيدة B سينتقل ليشغل العقدة الأب ولتكن A من أجل عبارة الدخل $X=\alpha_3$ وعند تحقق العبارة البوليانية$r_{3,2}$.

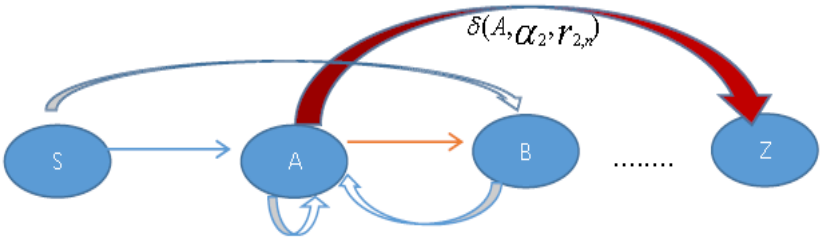
**6-3 تابع الإنتقال () $\delta_{A\to Z}$ من العقدة الجد A إلى العقدة Z الحفيدة من الدرجة n:**

عندما يكون الدخل$X=\alpha_n$ ولدى تحقق الشرط:

$r_{2,n}$:(t=$t_6$) (13)&&I <=$c_6$

حيث يحدد تابع الإنتقال كالتالي:{Z} = $\delta(A,\alpha_2,r_{2,n})$ويمكن تمثيل الأتومات بالشكل (8)التالي:

$C_6$،$t_6$: ثوابت عددية صحيحة موجبة.




شكل(8)الإنتقال من العقدة الجد إلى العقدة الحفيدة من الدرجة n

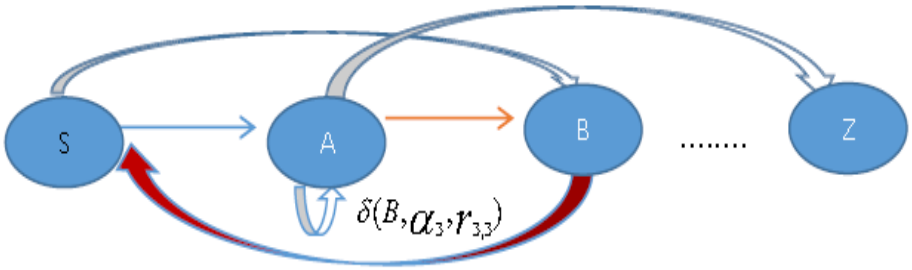
**3-7 تابع الإنتقال() $\delta_{B\to S}$ من عقدة حفيدة ولتكن B إلى العقدة المنطلق(الجذر) S:**

عندما يكون الدخل $X=\alpha_3$ وعند تحقق الشرط $T<=t_7$ $r_{3,3}:(r_{3,3}L>c_7\&\&$

ويمكن كتابة تابع الإنتقال:$\delta(B.\alpha_3,r_{3,3})=\{S\}$.

$t_7$،$c_7$–ثوابت عددية صحيحة موجبة.

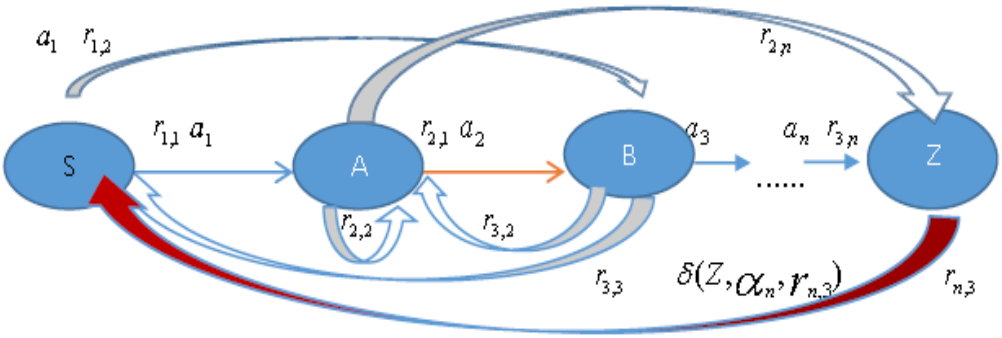
ويأخذ مخطط الأتومات الشكل التالي(9):




**شكل(9)تابع الإنتقال من عقدة حفيدة"B"إلى عقدة جذر "S"**

**3-8 تابع الإنتقال $\delta_{Z\to S}$ من العقدة الحفيدة ولتكن Z من الدرجة n إلى العقدة الجذر S:**

من أجل الدخل $X=\alpha_n$ ولدى تحقق الشرط :( $T=C_{n-1}$ || $I>=c_n$ : $r_{n,3}$ ويمكن كتابة تابع الإنتقال بالصيغة التالية: $\delta(z.\alpha_n,r_{n,3})=\{S\}$.



**الشكل(10) مخطط الإنتقال المشروط للأتومات(A)T**

إن استخدام توابع الإنتقال المشروط للأتومات(A)T اللانهائييحافظ على عدد الأوضاع المحتملة للزيارة وعدد خطوط الإرتباط دون تعديل وبالتالي يحافظ على قوة اللغة التي يمكن أن يمررها الأتومات ويحول الأتومات اللانهائي NFA إلى أتومات نهائيDFA مختزل لأنه لايوجد في سيناريو إنتقالالأتومات أي خط مكرر حيث أن كل منها مخصص بشرط فريد من نوعه يحدد الوضع التالي المقترح للزيارة الذي سيشغله الأتومات ويتم تحديد شروط الإنتقال بين مختلف الأوضاع وبدقة حيث ينتقل الأتومات من وضع لآخرعند تحقق شرط ما($r_{i,j}$) ومن أجل نفس الدخل وبالتالي يوجد خط ارتباط وحيد مميز بين كل عقدتين حيث يحدد تابع الإنتقال المشروط الوضع التالي الذي سيشغله الأتومات وبالتالي فالأتومات الناتج هو مختزل مع الإشارة إلى هكذا تابع يلغي ضرورة الرجوع إلى الوراءBacktracking لعدم وجود انتقال خاطئ للأتومات وهذه من أهم ميزات النموذج المقترح, أي أن العقدة المنطلق S ومن أجل نفس الدخل وليكن $\alpha_1$ يمكن الإنتقال إلى العقدة A إذا تحقق الشرط$r_{1,1}$ وإلى العقدة B إذا تحقق الشرط $r_{1,2}$.

في العقدة A من أجل الدخل $\alpha_2$ وتحقق الشرط $r_{2,2}$ يمكن البقاء في نفس العقدة واستخدام فكرة الإستدعاء الذاتي والإنتقال إلى العقدة B إذا تحقق الشرط$r_{2,1}$ أو الإنتقال إلى العقدة Z إذا تحقق الشرط $r_{2,n}$ .

ونعبر عن ذلك بالعلاقة التالية: {A}{A,B,Z} ⟶

في العقدة B لدى الدخل$\alpha_3$ يمكن الإنتقال إلى العقدةالتالية Z عند تحقق الشرط $r_{i,j}$ العلاقة ويمكن الإنتقال إلى العقدة الأبA من أجل نفس الدخل وعند تحقق الشرط $r_{3,2}$ أوالإنتقال إلى العقدة الجذرSعند تحقق الشرط $r_{3,3}$.

ونعبر عن ذلك بالعلاقة التالية: {B}{A,Z,S} ⟶

أي أنه من العقدة B يمكن الوصول إلى إحدى العقد{A,Z,S} وبالرغم من أن العقد A,Z متواجدة في كلا المجموعتين إلى أنه لايمكن تنفيذ أي عملية إنتقال مكررة بين العقد ولايوجد تماثل بالمسارات فكل مساره مجموعة شروط فريدة .

لنفرض أنه لدينا المخطط Graph المؤلف من m عقدة (وضع) يمكن أن يشغلها الأتومات وحيث يمكن استخداماالإستدعاء الذاتي فيها $r_{i,j}$ ولمرة واحدة وعدد العقد(الأوضاع) التي يمكن أن ينتقل إليها الأتومات من عقدة ما $w_{i,j}$ فإن عدد الأوضاع الأعظمي N (العقد) التي يمكن أن يشغلها الأتومات بعطى بالعلاقة الآتية(20):

$$N_{max}=\sum_{I=1,J=1}^{I=n,j=n} m * r_{i,j} * w_{ij} = m \sum_{I=1,J=1}^{I=n,j=n} r_{i,j} * w_{ij}$$

m– ثابت صحيح موجب طويل.

i–الرقم التسلسلي للوضع الذي قد يشغله الأتومات.

j– رقم خط الإرتباط بين الوضع الحالي والوضع المحتمل التالي وحيث أن الأتومات مستخدماً توابع الإنتقال المشروطة يستطيع الإنتقال لوضع تالي وحيد وتجدر الإشارة هنا إلى أن الإستدعاء الذاتي يعالج و كأنه

انتقل منوضع لآخر علماً أنه لا يغير الوضع الذي يشغله وحيث أن كل عقدة يمكن تخصيصها بثابت خاص لعدد مرات الإستدعاء الذاتي (التوريث) المستخدم في هذه العقدة.

وبما أن عدد العقد التالية التي قد يشغلها الأتومات هو $W_{i,j}=1$ وبالتالي فالعلاقة (20)تأخذ الشكل الآتي:

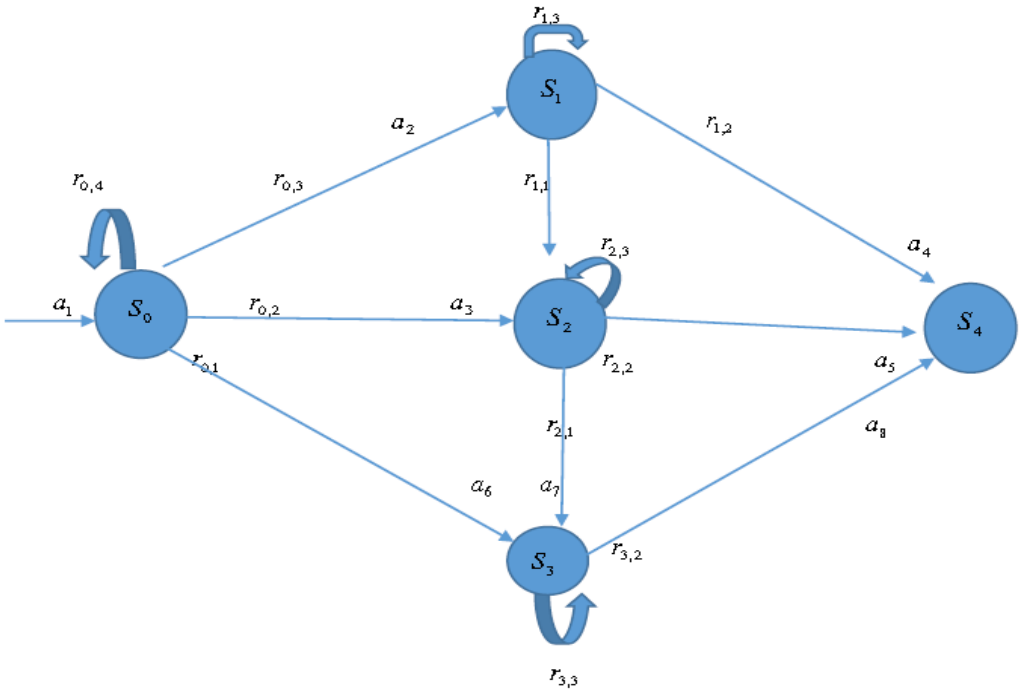
$$N'_{\max} = \sum_{I=1..n,J=1..n}^{I=n1,j=n2} m * r_{i,j} *1 = m \sum_{I=1,J=1}^{I=n,j=n} r_{i,j}$$

ونتيجة لإستخدام توابع الإنتقال المشروط فإنه يتم اختصار عدد العقد التي يمكن أن يشغلها الأتومات بالمقدار $\eta_{\max}$ (عامل التحسين)الذي يعطي بالعلاقة:

$$\eta_{\max} = \frac{N_{\max}}{N'_{\max}} = \frac{m \sum r_{i,j} * w_{i,j}}{m \sum r_{i,j}}$$

حيث أن المردود $\eta_{\max} = W_{i,j} \, 1 / \sum_{I=1,J=1}^{I=n,j=n}$ يزداد بزيادة عدد خطوط الإرتباط بين عقد المخططGraph .

مثال:




**الشكل(11)**

بفرض أن:$Q = \{S_0\ S_1\ S_2\ S_3\ S_4\}$ – مجموعة الأوضاع التي يشغلها الأتومات.

$r_{i,j}\ _{i=1,3,j=1,3}$ –مجموعة عناصر الإستدعاء الذاتي.

لنحسب عدد توابع الإنتقال المستخدمة وفق الطرق التقليدية لاستخدام توابع الإنتقال للأتومات ووفق استخدام توابع الإنتقال المشروط.

**a)<u>الطريقة التقليدية</u>:**

-العدد الأعظمي لتوابع الإنتقال المستخدمة $N_{\max.trad}$ الذي يعطى بالعلاقة الآتية:

$$N_{\max.trad} = N_{S0} + N_{S1} + N_{S2} + N_{S3} = 4+3+3+2 = 12$$

-عدد توابع الإنتقال للوراء عند التنفيذ الخاطئ بالطريقة التقليدية:

$$N_{back.trad} = N_{S0\ back} + N_{s1\ back} + N_{s2\ back} + N_{s3\ back} = 4+3+3+2 = 12$$

-عدد العقد التي قد يشغلها الأتومات: $N_{visit} = 8$

b) **<u>باستخدام توابع الإنتقال المشروط</u>:**

-العدد الأعظمي لتوابع الإنتقال المشروط المستخدمة:

$$N_{\max.cond} = N_{S0} + N_{S2} + N_{S3} = 1+1+1 = 3$$

-عدد العقد الأعظمي التي قد يزورها الأتومات :

$$N_{ver.cond} = 5$$

وبالتالي فإن عامل التحسين بالنسبة لعدد توابع الإنتقال المستخدمة هو:

$$\eta_{cond.func} = N_{\max.con} / N_{\max.trad} = 3/12 = 0.25$$

وكذلك فإن عامل التحسين بالنسبة لعدد العقد التي تم زيارتها:

$$\eta_{ver} = N_{ver.cond} / N_{visit} = 5/8 = 0.625$$

عدد توابع الإنتقال عند التنفيذ الخاطئ ولدى استخدام توابع الإنتقال المشروط هو $N_{.back.cond} = 1$ وذلك لأن صحة العبارات الشرطية هي التي تحدد إمكانية استخدام تابع إنتقال دون غيره وبالتالي لا يوجد استخدام خاطئ لتوابع الإنتقال.

ويمكن تلخيص هذه النتائج بالجدول الآتي(Table1):

**Table1**

| | Traditional | Conditional | معامل التحسين | عدد التوابع المختزلة |
|---|---|---|---|---|
| $N_{max.t.f}$ | 12 | 3 | 0.25 | 9 |
| $N_{visit.ver}$ | 8 | 5 | 0.625 | 3 |
| $N_{min.t.f}$ | 5 | 1 | 0.2 | 4 |
| $N_{back}$ | 12 | 1 | 0.083 | 11 |

من الجدول (1)Table يتبين بأن استخدام توابع الإنتقال المشروط لتوجيه الأتومات أثناء زيارته للعقد المتاحه قد سمح بإختزال:

1-العدد **الأعظمي** لتوابع الإنتقال للأتومات بمقدار:

$$N_{\max.sh} = N_{\max.t.f} - N_{\max..cond} = 12-3=9$$

2-العقد المتاحة للزيارة: $N_{visit.ver} = 8-5=3$

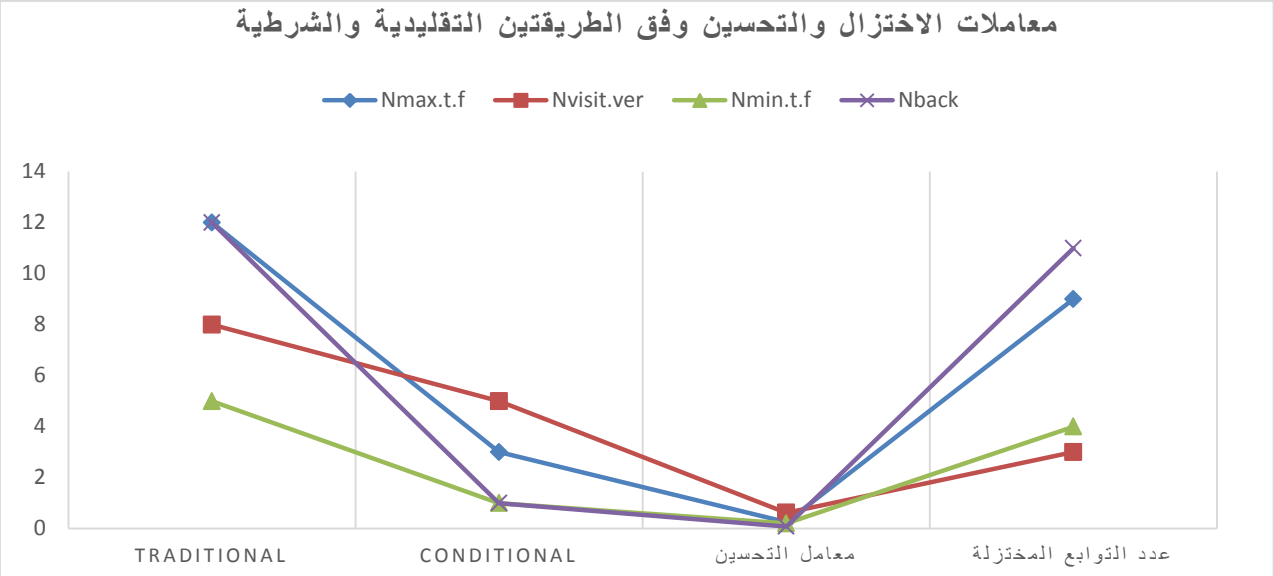
3-إختزال العدد **الأصغري** لتوابع إنتقالالأتومات:

$$N_{\min.sh} = N_{\min.t.f} - N_{\min.c.f} = 5-1=4$$

4-إختزال عدد مرات **الرجوع إلى الوراء** في حالة الفشل بتحليل محرف الدخل:

$$N_{back} = -N_{C.back} = 12-1=11\ N_{back.trad}$$

ويمكن تمثيل المعطيات بالاعتماد على الجدول(1) والشكل(12):




**الشكل(12)**

## 4.الاستنتاجات والتوصيات

### 4-1.الاستنتاجات:

من الشكل(10) السابق يتبين أنه يمكن للأتومات الإنتقال بين هذهالعقد وبحرية شريطة أن يتم تنفيذ الشرط المرفق ولخص إلى التالي:

- لا وجود لمسارات متكررة للأتومات.
- غياب الإنتقال العشوائي بين العقد. نظراً لأن الإنتقال بين العقد مشروط.
- المحافظة على قوة اللغة التي يمكن أن يمررها الأتومات(A)T .
- الأتومات الذي يستطيع تنفيذ كل حزمة التوابع المخصصة له مختزل.
- بما أنه يتم وفي كل خطوة اختيار المسار الأفضل لذا يتم اختصار زمن تحليل عبارة (التعرف عليها) إلى أدنى حد.
- العبارات الشرطية المرفقة بكل مرور بين عقدة وأخرى غير متكررة.

### 2.4 التوصيات:

- استخدام الأتوماتDFA المختزل في التحليل النحوي و المعنوي لعبارات الدخل وكذلك توجيه حركة الكائنات على اختلاف أنواعها.
- استخدام النحو الشكلي الحر Context-free formal grammar لتصميم أتوماتونات مختزلة تفيد في تنفيذ التحليل المعنوي لعبارة الدخل.
- تطوير منهجية استخدام توابع الانتقال للتنبؤ بالمسارات الأمثل.

- دراسة تأثير عدد البارامترات أحد عناصر توابع الإنتقال على زيادة المردود في عملية التحليل النحوي لعبارة الدخل.

## المراجع العلمية


1.Simon Thompson,using Miranda,Regular Expressions and Automat. Computing Laboratory University of Kent at Canterbury, 1995.

2. jiang D C, Li W. The verification of conversion algorithms between finite automata. Sci China Inf Sci, 2018, 61(2): 028101, doi: 10.1007/s11432-017-9155-x

3.Finiteautomata theory and formal language http://www.cse.schalmers.se/edu/course/TMV027.

4. Chengcheng Xu, Jinshu Su, Shuhui Chen. College of Compute National University of Defense Technology Changsha,China,410073xuchengcheng@nudt.edu.cn ( 2018 )Association for Computing Machinery.

5. NFA to DFA conversion and regular expressions CSCI 3130 Formal Languages and Automata Theory Siu On CHAN Chinese University of Hong Kong Fall 2017.

6.AlfredV.Aho,MonicaS.Lam,Jeffrey.D.Ullman.Compilers principles, techniques& tools, Pearson-Addison Wesley, 2007.

7. د.يعرب ديوب." نمذجة المحادثة التعليمية المؤتمتة مع الكائن" مجلة جامعة البعث،2013 المجلد35

8.Dayoub.y,Predictiveadaptive dynamic object's traversals control,Tartous,Volume3 N:6 2019.

9. Dayoub.y,Converting non-free-context indexed production rules in programmed formal grammar into free-context type Tartous,Volume4 N:5 2020.