مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية_ سلسلة العلوم الأساسية المجلد (4) العدد (6) 2020
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies- basic Sciences Series Vol. (4) No. (6) 2020

دراسة شبكة الآلات التواصلية المنتهية الحالة وتطبيقها على بروتوكول اتصال بسيط

د. عائدة صائمة*

(تاريخ الإيداع 19 / 11 / 2020 . قُبل للنشر 24 / 12 / 2020)

الملخّص:

نقوم في هذا البحث بالتعريف بنموذج شبكة الآلات التواصلية منتهية الحالة وتطبيقه على بروتوكول اتصال بسيط في حالتين الحالة الأولى عندما تكون قناة الاتصال بين أطراف البروتوكول مثالية خالية من الأخطاء والحالة الثانية عندما تكون هذه القناة غير مثالية ومن ثم نستخدم تقانة تحليل قابلية الوصول لاكتشاف أخطاء هذا البروتوكول والخواص التي يحققها مع بناء شجرة قابلية الوصول له.

الكلمات المفتاحية : شبكة الآلات التواصلية المنتهية الحالة– قناة اتصال– بروتوكول – قابلية الوصول.

*مدرس في قسم الرياضيات – كلية العلوم – جامعة طرطوس

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية_ سلسلة العلوم الأساسية المجلد (4) العدد (6) 2020
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies- basic Sciences Series Vol. (4) No. (6) 2020

Study of Communication Finite State Machines Network And Its Application To a Simple Communication Protocol

D. Aida Sayma*

(Received 19/ 11 / 2020 . Accepted 24/12 / 2020)

Abstract:

In this research, we define the communication finite state machines network model and apply it to a simple communication protocol in two cases, the first case ,when the communication channel between the entities to the protocol is perfect error-free, and the second case, when this channel is not ideal. Then we use the reachability analysis technique to discover the errors of this protocol and its properties with constructingits reachability tree.

Key Words: communication finite state machines network**,** communication channel**,** protocol**,** reachability**.**

* Lecturer – Department of Mathematics – Faculty of Science – Tartous University

1- مقدمة

الأنظمة المنتهية الحالة هي الأنظمة التي لها عدد منته من الحالات وتشكل هذه الأنظمة نسبة كبيرة من الأنظمة العملية الحديثة كالشبكات الحاسوبية وأنظمة الاتصال وبرتوكولاتها وأنظمة التحكم الصناعية [4].

ونظرا للانتشار الكبير للشبكات المعلوماتية والأنظمة الموزعة اللتين تستخدما بروتوكولات الاتصالات ، كان لابد من إيجاد نماذج رياضية جديدة لتوصيف هذه البروتوكولات وتحليلها وتركيبها والتحقق من عملها، بحيث تكون خالية من أخطاء التصميم المنطقية. تعتبر الآلات التواصلية المنتهية الحالة أحد نماذج التحقق من عدم وجود أخطاء [3,6,10]. ويعد نموذج الآلات التواصلية المنتهية الحالة ، وهي حالة خاصة من الآلات المنتهية الحالة، أكثر مرونة وقوة منها عند استخدامه [1]. وقد سميت تواصلية لأن أي آلة في شبكة تحوي (n) آلة تواصلية منتهية الحالة تتواصل مع الآلات الأخرى الموجودة في الشبكة بأن ترسل رسائل إلى هذه الآلات وتستقبل رسائل منها عبر قنوات اتصال مزدوجة الاتجاه تصل بين كل آلتين في هذه الشبكة [1,10].

2- أهمية البحث وأهدافه

تأتي أهمية هذا البحث من أهمية موضوع انتشار الأنظمة المنتهية الحالة كالشبكات الحاسوبية وأنظمة الاتصال وبروتوكولاتها والحاجة لإيجاد نماذج رياضية جديدة لتوصيف هذه الأنظمة و بروتوكولات اتصالها وتحليلها وتركيبها والتحقق من صحتها بحيث تكون خالية من أخطاء التصميم المنطقية.ويهدف هذا البحث إلى التعريف بنموذج شبكة الآلات التواصلية المنتهية الحالة وتطبيقه على بروتوكول اتصال بسيط وتوصيف هذا البروتوكول في حالتين الحالة الأولى عندما تكون قناة الاتصال بين أطراف البروتوكول مثالية والحالة الثانية عندما تكون قناة الاتصال بين أطراف البروتوكول غير مثالية ومن ثم استخدام تقانة تحليل قابلية الوصول لاكتشاف أخطاء هذا البروتوكول وتحليله واستخراج الخواص التي يحققها مع رسم شجرة قابلية الوصول له.

3- طرق البحث وموارده

لتحقيق هدف البحث ، تم إتباع الخطوات التالية:

- دراسة نظرية وتعريفية بنموذج شبكة الآلات التواصلية المنتهية الحالة.
- توصيف بروتوكول اتصال بسيط بهذا النوع من نماذج الشبكات.
- بناء شجرة قابلية الوصول للحالات الشاملة القابلة للوصول في البروتوكول باستخدام تقانة تحليل قابلية الوصول مع رسمها، واختبار فيما إذا كان هذا البروتوكول خال من أخطاء التصميم المنطقية .

4-الدراسة النظرية

4-1- نموذج شبكة الآلات التواصلية المنتهية الحالة:

4-1-1- تعريف الآلة التواصلية المنتهية الحالة [2,4,5]: ندعو الرباعية $M_i = (S_i, \Sigma_i^{\pm}, m_{i0}, \delta_i)$ آلة تواصلية منتهية الحالة إذا كانت ترسل رسائل إلى آلة أخرى M_j وتستقبل رسائل منها عبر قناة اتصال مزدوجة الاتجاه تصل بين الآلتين بالاتجاه من M_i إلى M_j وعندئذ يرمز لها بالرمز $C_{i\to j}$ وهي تحمل الرسائل المرسلة من M_i إلى M_j و بالاتجاه من M_j إلى M_i وعندئذ يرمز لها بالرمز $C_{j\to i}$ وهي تحمل الرسائل المرسلة من M_j إلى M_i، حيث:

- S_i مجموعة من الحالات المحلية المنتهية للآلة M_i.
- $\sum_i^{\pm} = \sum_i^{-} \cup \sum_i^{+}$ أبجدية منتهية من أحداث إرسال لـ M_i والتي يتم في أي حدث منها إرسال رسالة من M_i إلى آلة أخرى M_j عبر قناة الاتصال $C_{i\to j}$ ويرمز لأي منها بالرمز $s_{i,j}$ ومجموعة من أحداث استقبال لـ M_i والتي يتم في أي حدث منها استقبال الآلة M_i لرسالة مرسلة من الآلة M_j عبر قناة الاتصال $C_{j\to i}$ ويرمز لأي منها بالرمز $r_{i,j}$.
- m_{i0} الحالة الابتدائية لـ M_i.
- δ_i تابع الانتقال وهو معرف على النحو التالي: $\delta_i : S_i \times \sum_i^{\pm} \to 2^{S_i}$

ويمكن تمثيل أي آلة M_i ببيان موجه بحيث أن عقد هذا البيان تمثل المجموعة S_i ويوجد ضلع موجه من العقدة m إلى العقدة m' مرمز بـ a إذا وفقط إذا كان: $m' \in \delta_i(m,a)$، حيث:

1- إذا كانت $a \in \sum_i^{-}$ فإن الضلع المرمز بـ a يدعى ضلع إرسال.

2- إذا كانت $a \in \sum_i^{+}$ فإن الضلع المرمز بـ a يدعى ضلع استقبال.

وتقسم أي حالة m من S_i ممثلة في هذا البيان إلى:

1- m حالة إرسال إذا كانت جميع الأضلاع الخارجة منها أضلاع إرسال.ومن أجل السهولة سنمثل أي عنصر $s_{i,j}$ من $\sum_i^{-}$ بعدد صحيح يمثل الرسالة مسبوقاً بإشارة (−) يمثل إرسالها.

2- m حالة استقبال إذا كانت جميع الأضلاع الخارجة منها أضلاع استقبال. ولأي عنصر $r_{i,j}$ من $\sum_i^{+}$ بعدد صحيح يمثل الرسالة مسبوقاً بإشارة (+) يمثل استقبالها.

3- m حالة مختلطة إذا كانت الأضلاع الخارجة منها أضلاع إرسال واستقبال.

4- m حالة نهائية إذا كان لا يوجد أي ضلع خارج من الحالة m.

4-1-2- تعريف نموذج شبكة الآلات التواصلية المنتهية الحالة[5,8]: إذا كانت $M_1, \dots, M_n; n \geq 2$ مجموعة من الآلات التواصلية المنتهية الحالة بحيث أن كل آلة من هذه الآلات ترسل رسائل إلى الآلات الأخرى الموجودة في المجموعة وتستقبل رسائل منها عبر قنوات اتصال مزدوجة الاتجاه تكون منمذجة كخطوط انتظار FIFO (First In First On) تربط بين كل آلتين،عندئذ ندعو $N = \langle M_1, M_2, \dots, M_n \rangle$ شبكة من الآلات التواصلية المنتهية الحالة، حيث يفترض دوماً أن قنوات الاتصال بين أي آلتين من آلات الشبكة خالية من الخطأ إلا إذا ذكرنا

عكس ذلك ، ويمكن كتابة أي شبكة $N = \langle M_1, M_2, \dots, M_n \rangle$ من الآلات التواصلية المنتهية الحالة كرباعية $N = (V_N \times C_N, \sum^{\pm}, [v_0, c_0], \delta)$، حيث :

- $V_N \times C_N$ مجموعة الحالات الشاملة للشبكة N وتعرف الحالة الشاملة للشبكة N بأنها زوج من العناصر $[\mathrm{v}, \mathrm{c}] \in V_N \times C_N$، حيث= $v = [m_1, \dots, m_n]$ و $m_i \in S_i$ تكون الحالة المحلية الراهنة للآلة M_i $[m_i]_{i=1}^{n}$ و $c = [c_{2,1}, \dots, c_{n,1}, c_{1,2}, \dots, c_{n,2}, \dots, c_{(n-1)n}] = [c_{i,j}]_{i,j \in I} \epsilon C_N = N^{n(n-1)}$ و $I = \{1,2, \dots, n\}$ و $c_{i,j}$ محتويات القناة من الآلة M_i إلى الآلة M_j حيث $i \neq j$.
- $\sum^{\pm} = \bigcup_{i \in I} \sum_i^{\pm}$ مجموعة أحداث الإرسال والاستقبال للشبكة N.
- $[\mathrm{v}_0, \mathrm{c}_0] \in V_N \times C_N$ الحالة الشاملة الابتدائية للشبكة N، حيث $[\mathrm{v}_0, \mathrm{c}_0] = \left[[m_{i0}]_{i=1}^{n}, [c_{i,j}]_{i,j \in I}\right]$

و $c_{i,j} = \varepsilon$ من أجل $i \neq j$. وهي تعني أن كل آلة M_i في الشبكة N تكون في حالتها الابتدائية المحلية m_{i0} الموافقة لها وجميع قنوات الاتصال في الشبكة فارغة.

- δ تابع الانتقال للشبكة N :

$$\delta: (V_N \times C_N) \times \sum^{\pm} \longrightarrow 2^{V_N \times C_N}$$

و يقال عن الحالة الشاملة $S' = [\mathrm{v}', \mathrm{c}']$ في الشبكة N إنها قابلة للوصول من الحالة الشاملة $S = [\mathrm{v}, \mathrm{c}]$ إذا كانت $S = S'$ أو إذا وجد تسلسل من الحالات الشاملة $S_1, S_2, \dots, S_r$ في الشبكة N بحيث أن $S = S_1$ و $S' = S_r$ و S_{i+1} تنتج من S_i من أجل $i = 1,2, \dots, r-1$.

وتدعى المجموعة: $RS(N) = \{[v,c]; [v,c] \in \delta([v_0, c_0], e); \forall e \in (\sum^{\mp})^*\}$ مجموعة الحالات الشاملة القابلة للوصول في الشبكة N من الحالة الشاملة الابتدائية. وتدعى المجموعة :

$RV(N) = \{[m_i]_{i \in I}; m_i \in S_i$ حالة استقبال محلية$\}$ بمجموعة الحالات المستقبلة في الشبكة N.

4-2- خواص الآلات التواصلية المنتهية الحالة:

4-2-1-تعاريف أساسية [9, 7] :

لتكن N شبكة من الآلات التواصلية المنتهية الحالة ، عندئذ:

1- يقال عن الحالة الشاملة $[v, c]$ إنها حالة استقبال غير مخصص إذا كانت v_i إحدى مركبات v حالة استقبال محلية في الآلة M_i وكانت قناة الاتصال $C_{j \to i}$ تحوي تسلسلاً من الرسائل $g_1, g_2, \dots, g_k$ ، حيث $k \geq 1$ ومع ذلك لا يوجد ضلع استقبال خارج من v_i مرمز بـ $+g_1$.

2- يقال عن الحالة الشاملة $[v, c]$ إنها حالة احتباس إذا كانت كل آلة في الشبكة N في حالة استقبال محلية وجميع قنوات الاتصال فارغة ، أي $v \in RV(N)$ و $c = 0$.

3- يقال عن اتصال الشبكة N إنه محدود إذا وجد عدد صحيح موجب k يستخدم كحد أعلى لعدد الرسائل المرسلة في كل قناة اتصال في N وذلك من أجل أي حالة شاملة قابلة للوصول من الحالة الشاملة الابتدائية أي إذا تحقق الشرط : $\exists k \in N\ ;\ \forall [v,c] \in RS(N) \Rightarrow c_{i,j} \leq k\ ; \forall i,j \in I$ ، وإلا فإن اتصال الشبكة N غير محدود.

4- يقال عن الحالة الشاملة $[v,c]$ إنها حالة حية Liveness إذا أمكن الوصول إليها من جميع الحالات الشاملة في N والقابلة للوصول من الحالة الشاملة الابتدائية في N.

5- يقال إن N تحوي حلقات إذا وجد تسلسل جزئي ما لـ N يبدأ عند حالة شاملة ما ويعود للحالة الشاملة نفسها. حيث يكون بعض من هذه الحلقات ضرورياً ومفيداً للشبكة وبعضها الآخر غير مفيد مثل حلقات الحجز المؤقت والتي تكون حلقات غير منتهية ولا منتجة.

هناك بعض الخواص التي يجب أن تحققها شبكة N من الآلات التواصلية المنتهية الحالة لتقوم بعملها على أكمل وجه ومنها:

1- يجب أن تكون خالية من حالات الاستقبال غير المخصص و أن تكون خالية من حالات الاحتباس.

2- يجب أن يكون اتصالها محدوداً، وخاليا من التسلسلات غير القابلة للتنفيذ ضمن شروط تنفيذ عادية وخالياً من حلقات الحجز المؤقت.

3- يجب أن تحوي الشبكة N حالة شاملة حية، وأن تكون كل حالة شاملة في الشبكة N قابلة للوصول من الحالة الشاملة الابتدائية لـ N ، وإذا كانت N شبكة حلقية فإن اتصالها يجب أن يبقى متواصلاً.

5- الدراسة العملية:

إن بروتوكول الاتصال هو مجموعة القواعد التي يجري ضمنها تبادل مجموعة من الرسائل بين مجموعة من الأطراف المتفاعلة فيما بينها والتي تشكل نظاماً مادياً.

لنأخذ بروتوكول الاتصال التالي: وهو بروتوكول بسيط موضوع بين ثلاثة أطراف نظام A ، B و D متفاعلة فيما بينها بتبادل عدد من الرسائل المتناوبة والتي تحمل إما بتاً له القيمة 0 أو بتاً له القيمة 1 واختصارا سنقول بت 0أو بت 1 بين الأطراف الثلاثة عبر قناة اتصال وحيدة مزدوجة الاتجاه بين أي طرفين من هذه الأطراف وفق الآلية التالية: يبدأ الطرف A بإرسال رسالة تحمل بت 0 إلى الطرف B عبر قناة الاتصال $C_{A\to B}$ عندئذ تكون مستقبلة بالطرف B ومن ثم يقوم الطرف B بإرسال رسالة تحمل بت 0 إلى الطرف D عبر قناة الاتصال $C_{B\to D}$ فتكون مستقبلة من قبل الطرف D، الآن يقوم الطرف D بإرسال رسالة تحمل بت 0 إلى الطرف A عبر قناة الاتصال $C_{D\to A}$ فتكون مستقبلة بـ A ومن جديد الطرف A وعلى التناوب يرسل رسالة تحمل بت 1 إلى الطرف B عبر قناة الاتصال $C_{A\to B}$ عندئذ تكون مستقبلة بالطرف B ومن ثم يقوم الطرف B بإرسال رسالة تحمل بت 1 إلى الطرف D عبر قناة الاتصال $C_{B\to D}$ فتكون مستقبلة من قبل الطرف D، الآن يقوم الطرف D بإرسال رسالة تحمل بت1 إلى الطرف A عبر قناة الاتصال $C_{D\to A}$ فتكون مستقبلة بـ A.

وهكذا يكرر البروتوكول نفسه وفق الآلية السابقة. ومن أجل سهولة توصيف هذا البروتوكول بنموذج شبكة الآلات التواصلية المنتهية الحالة لنستخدم الترميزات التالية:

A_0- حدث إرسال رسالة تحمل بت 0 من الطرفA إلى الطرف B.

A_0+ حدث استقبال الطرف B للرسالة المرسلة من A والتي تحمل بت 0.

B_0- حدث إرسال رسالة تحمل بت 0 من الطرف B إلى الطرف D.

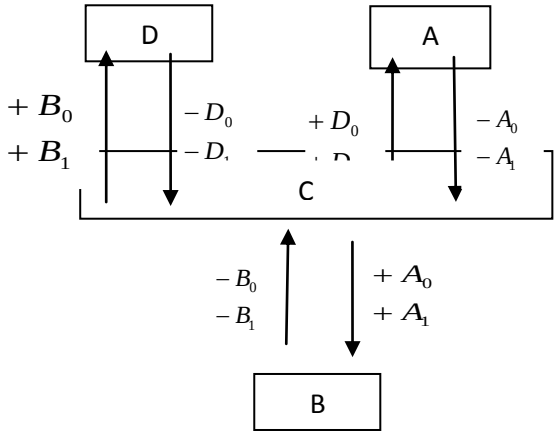
B_0+ حدث استقبال الطرفD للرسالة المرسلة منB والتي تحمل بت 0.

D_0- حدث إرسال رسالة تحمل بت 0 من الطرفD إلى الطرف A.

D_0+ حدث استقبال الطرف A للرسالة المرسلة منD والتي تحمل بت 0 .

وكذلك الترميزات $-A_1$ ، $+A_1$ ، $-B_1$ ، $+B_1$ ، $-D_1$ و $+D_1$ تمثل الأحداث السابقة نفسها وبالترتيب نفسه ولكن من أجل بت 1.

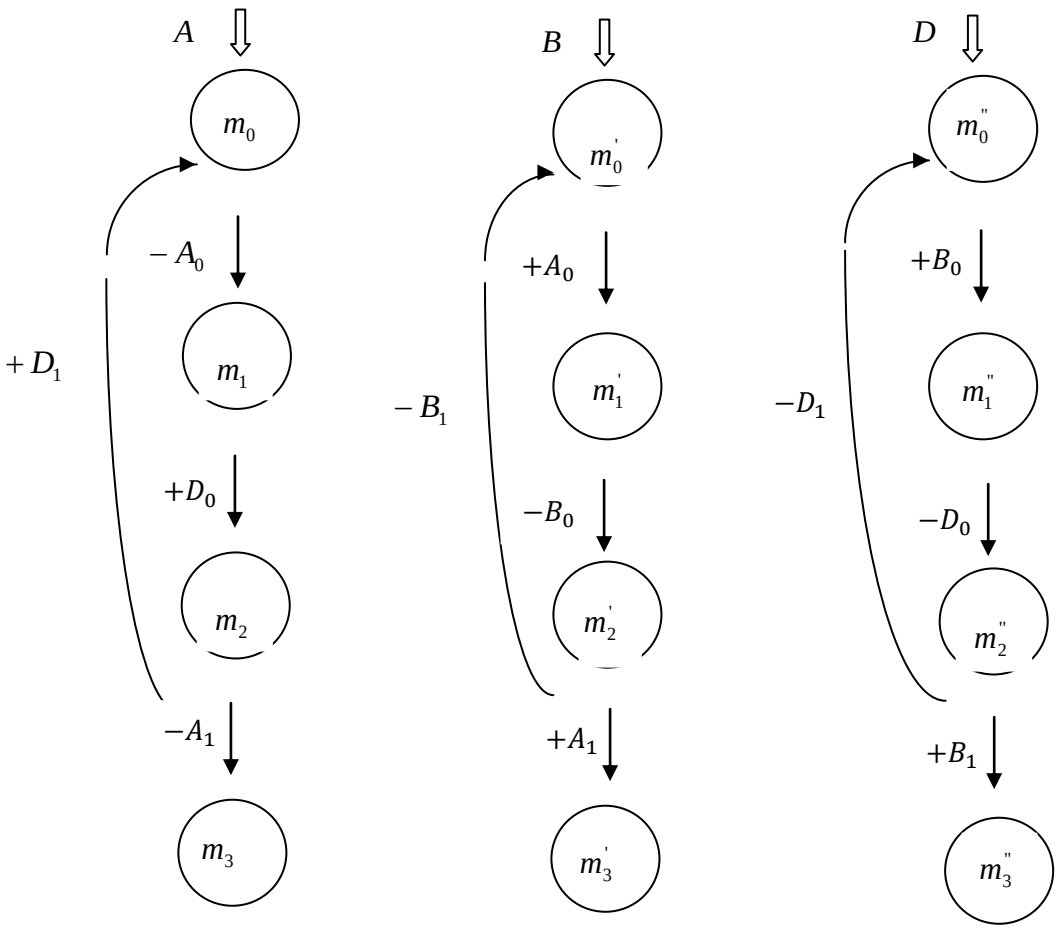
5-1- البروتوكول قبل التوصيف: و يكون له الشكل التالي:



الشكل (1): برتوكول الاتصال قبل التوصيف بنموذج شبكة الآلات التواصلية منتهية الحالة.

5-2- البرتوكول عند التوصيف بنموذج شبكة الآلات التواصلية المنتهية: ونميز هنا حالتين عند توصيف هذا البروتوكول بنموذج شبكة الآلات التواصلية المنتهية وهما:

1-الحالة الأولى: قناة الاتصال بين طرفي البرتوكول مثالية أي لا يوجد ضياع بالرسائل أو تشويه أو تأخر في وصول الرسائل وبهذه الحالة فإننا نمثل كلاً من أطراف البروتوكول A ،B وD بآلة تواصلية منتهية الحالة وكذلك قناة الاتصال وحيدة ومزدوجة الاتجاه بين أي طرفين من أطراف البرتوكول بصف انتظار FIFO من أجل أي اتجاه من طرف لآخر، وسنفرض أنه لا يوجد قيم افتراضية حول الوقت الذي تقضيه آلة في حالة محلية لها قبل أن ترسل رسالة ما ولا قيم افتراضية حول الوقت الذي تقضيه رسالة في قناة قبل أن تكون مستقبلة بالآلة الأخرى ويأخذ البرتوكول بعد التوصيف بنموذج الآلات التواصلية منتهية الحالة الشكل التالي:

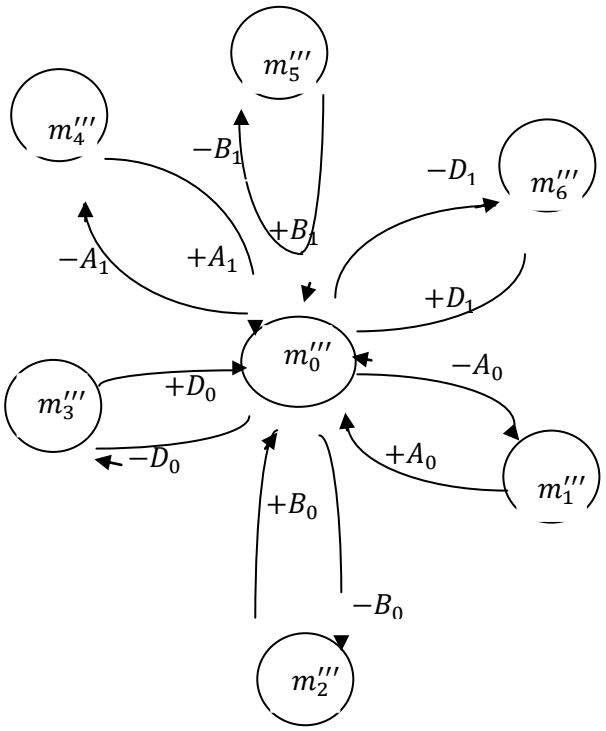


الشكل (2): التمثيل البياني لبروتوكول الاتصال بنموذج شبكة الآلات التواصلية منتهية الحالة لقناة اتصال مثالية خالية من الأخطاء.

نلاحظ أن البروتوكول يبدأ التنفيذ وكل من A ، B و D في حالاتها الابتدائية المحلية وقناة الاتصال بين أطرافه فارغة، وأنه يعود بعد تنفيذ سلسلة من الأحداث لحالته الشاملة الابتدائية $[m_0, m_0', m_0'', 0,0,0]$، حيث الرباعية التي تمثل A كآلة تواصلية منتهية الحالة هي $M_A = (S_A, \Sigma_A^{\pm}, m_0, \delta_A)$، حيث:

$S_A = \{m_0, m_1, m_2, m_3\}$ وهي تمثل مجموعة الحالات المحلية للآلة A، $\Sigma_A^{\pm} = \{-A_0, +D_0, -A_1, +D_1\}$ وهي تمثل أبجدية منتهية من أحداث الإرسال وأحداث الاستقبال للآلة A. و δ_A معرف وفق التمثيل البياني في الشكل (2). والرباعية التي تمثل B كآلة تواصلية منتهية الحالة هي $M_B = (S_B, \Sigma_B^{\pm}, m_0', \delta_B)$، حيث: $S_B = \{m_0', m_1', m_2', m_3'\}$، $\Sigma_B^{\pm} = \{+A_0, -B_0, +A_1, -B_1\}$ و δ_B معرف وفق التمثيل البياني في الشكل (2). أما الرباعية التي تمثل D كآلة تواصلية منتهية الحالة هي $M_D = (S_D, \Sigma_D^{\pm}, m_0', \delta_D)$، حيث:

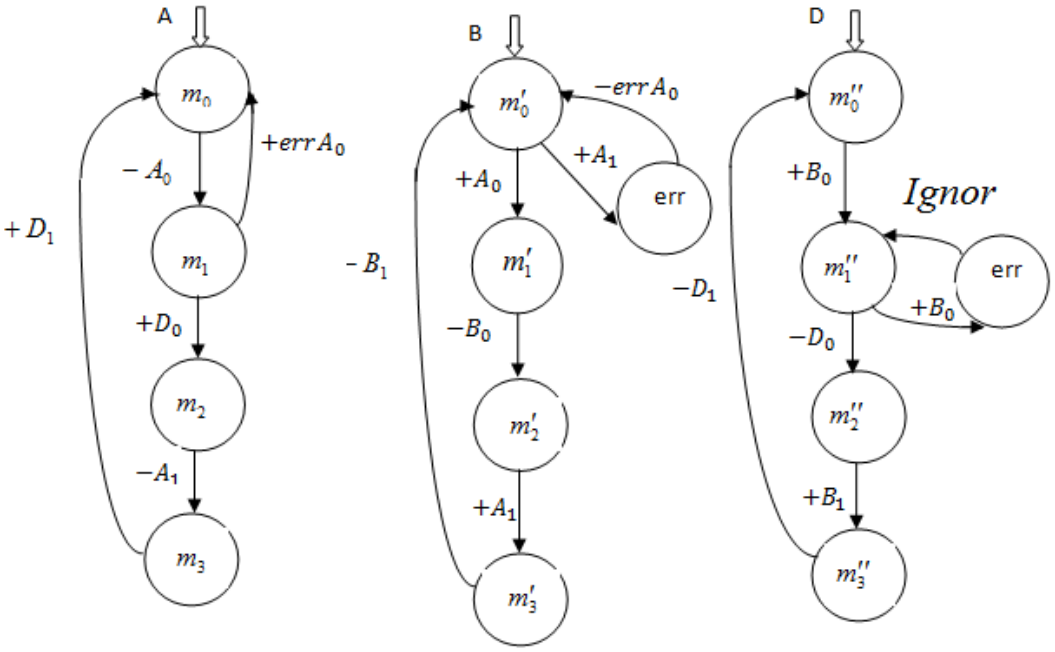
$S_D = \{m_0'', m_1'', m_2'', m_3''\}$ ، $\Sigma_D^{\pm} = \{+B_0, -D_0, +B_1, -D_1\}$ و δ_D معرف وفق التمثيل البياني في الشكل (2). وكذلك الرباعية التي تمثل قناة الاتصال C بين أطراف البروتوكول كآلة تواصلية منتهية الحالة هي $M_C = (S_C, \Sigma_C^{\pm}, m_0''', \delta_C)$، حيث: $S_C = \{m_0''', m_1''', m_2''', m_3''', m_4''', m_5''', m_6'''\}$، $\Sigma_C^{\pm} = \{-A_0, +A_0, -B_0, +B_0, -D_0, +D_0, -A_1, +A_1, -B_1, +B_1, -D_1, +D_1\}$ ، ونلاحظ هنا أن δ_C يكون معرفاً وفق التمثيل البياني في الشكل(3):



الشكل (3): التمثيل البياني لقناة الاتصال المثالية الخالية من الأخطاء C بنموذج الآلة التواصلية منتهية الحالة .

2-الحالة الثانية: قناة الاتصال بين أطراف البرتوكول غير مثالية: نفترض أنه يوجد إجراء لاكتشاف الأخطاء الناتجة من هذه القناة واستردادها إما بإعادة الإرسال أو تجاهل الخطأ ويختلف هذا الإجراء حسب طبيعة ونوع الخطأ . وبالتالي يأخذ البرتوكول بعد التوصيف بنموذج الآلات التواصلية منتهية الحالة مع الافتراض بأن البرتوكول لا يحوي أكثر من خطأين من أخطاء القناة وذلك كما يلي:

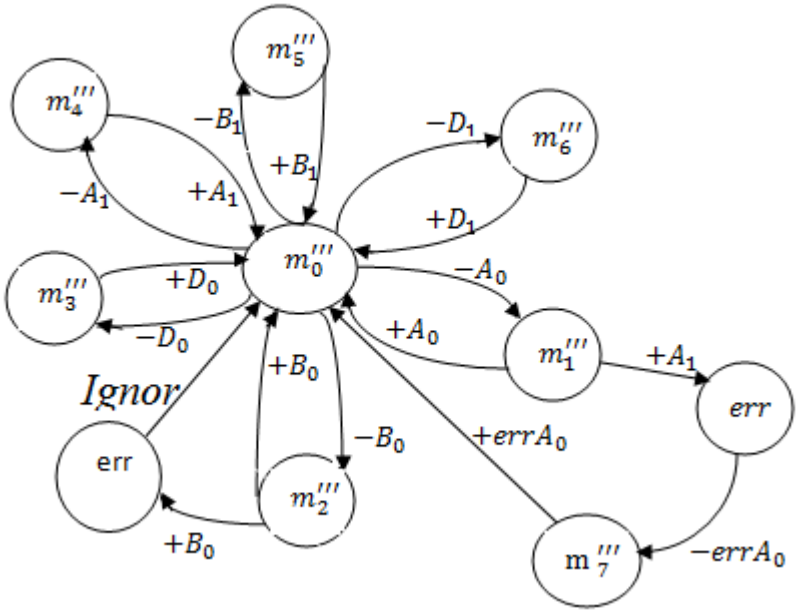
1-توصيف البروتوكول مع وجود خطأين كاستقبال الرسائل بغير الترتيب الذي أرسلت فيه و الاستقبال المتكرر لرسالة ما : عندما تكون الآلة A في الحالة m_0 فإنها ترسل رسالة للآلة B الرسالة A_0 وذلك حسب آلية تنفيذ البروتوكول ولكن الآلة B وهي في الحالة m_0' بدلاً من أن تستقبل الرسالة A_0 فإنها تستقبل الرسالة A_1 وهذا الخطأ ندعوه استقبال الرسائل بغير الترتيب الذي أرسلت فيه وهو ناتج عن قناة الاتصال، وكذلك فإن الآلة D عندما تكون في الحالة m_0'' وبعد أن تستقبل الرسالة B_0 فإنها تصبح في الحالة m_1'' ، وفي هذه الحالة يفترض أن الآلة D ترسل الرسالة D_0 للآلة A ولكن بدلا من ذلك تستقبل الرسالة B_0 وهذا الخطأ ندعوه الاستقبال المتكرر للرسالة B_0 . الآن يقوم الإجراء في حالة حدوث خطأ من النوع الأول بإدخال الآلة B بحالة تدعى حالة $error$ ومن هذه الحالة تعود للحالة m_0' بإرسال رسالة $errA_0$ تخبر فيه الآلة B بوجود خطأ باستقبال الرسالة A_0 وعندما تستقبل الآلة A هذه الرسالة فإنها تعود مرة أخرى للحالة m_0 وتعيد إرسال الرسالة A_0 من جديد إلى الآلة B وفي حالة حدوث الخطأ الثاني وبواسطة هذا الإجراء الآلة D تكتشف الخطأ وعندئذ تدخل الآلة D حالة تدعى حالة $error$ ، ومن ثم تعود للحالة m_1'' مرة أخرى متجاهلة الخطأ وتعود للتنفيذ حسب آلية تنفيذ البروتوكول. يبين الشكل (4) التمثيل البياني للآلات التي تمثل هذا البرتوكول في حالة وجود أخطاء في قناة الاتصال كاستقبال الرسائل بغير الترتيب الذي أرسلت فيه و الاستقبال المتكرر لرسالة ما.



الشكل (4): التمثيل البياني لبروتوكول الاتصال بنموذج شبكة الآلات التواصلية منتهية الحالة مع وجود أخطاء في

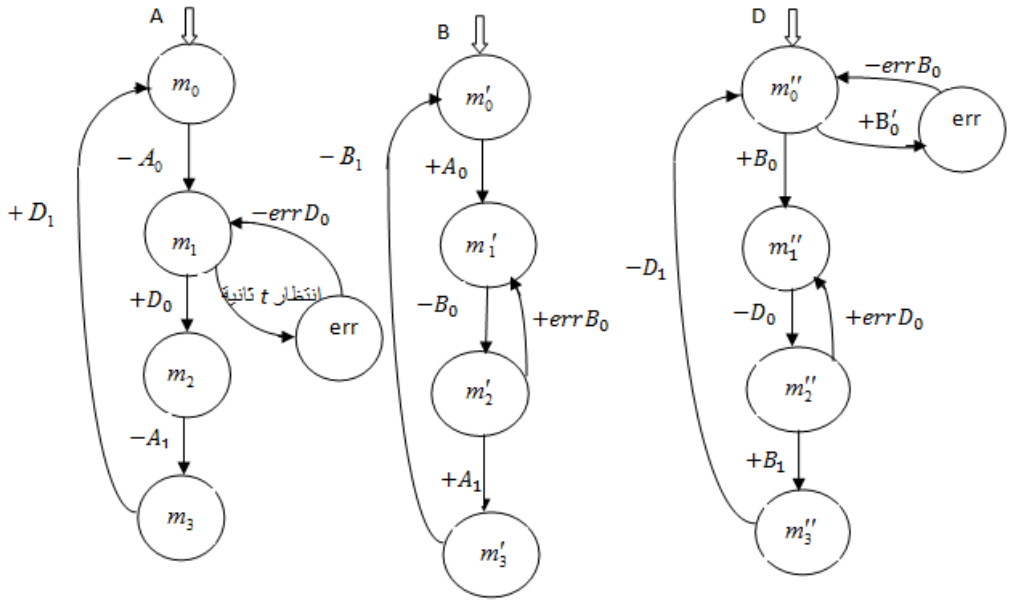
قناة الاتصال كاستقبال الرسائل بغير الترتيب الذي أرسلت فيه و الاستقبال المتكرر لرسالة ما.

يبين الشكل (5) التمثيل البياني لقناة الاتصال في هذه الحالة:



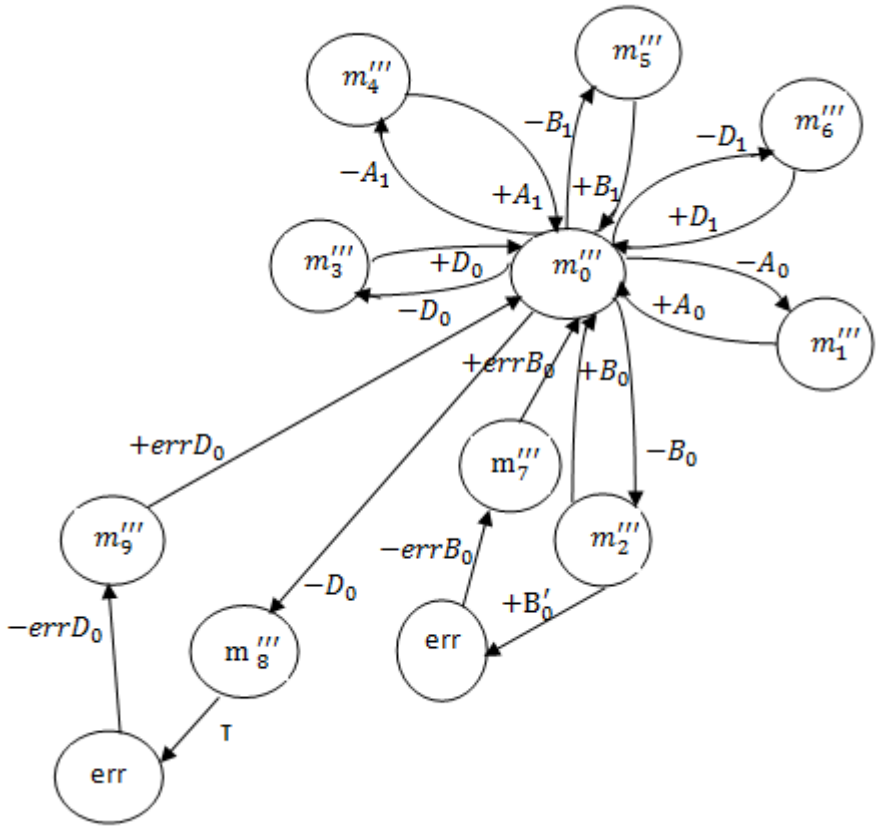
الشكل (5): التمثيل البياني لقناة الاتصال C بنموذج شبكة الآلة التواصلية منتهية الحالة في حال وجود أخطاء فيها كاستقبال الرسائل بغير الترتيب الذي أرسلت فيه و الاستقبال المتكرر لرسالة ما.

2-توصيف البروتوكول مع وجود خطأين كضياع رسالة في قناة الاتصال واستقبال نسخة مشوهة لرسالة ما : لنفترض دون المساس بعمومية البرتوكول أن أي رسالة مرسلة من آلة لأخرى في البروتوكول تقضي وقتاً محدداً في قناة الاتصال قبل استقبالها من الآلة الأخرى عندئذ ومع هذا الافتراض عندما تكون الآلة D في الحالة m_1'' فإنها ترسل الرسالة D_0 إلى الآلة A وعندئذ فإن الآلة A التي تكون في الحالة m_1 يجب أن تستقبل الرسالة D_0 ولكن A بعد انتظار قدره τ ثانية لاتصل إليها الرسالة D_0 وهذا يعني وجود خطأ ندعوه ضياع الرسالة D_0 في القناة، وكذلك عندما تكون الآلة B في الحالة m_1' فإنها ترسل الرسالة B_0 إلى الآلة D وتدخل في الحالة m_2' ولكن الآلة D وهي في الحالة m_0'' تستقبل الرسالة B_0' و هي نسخة مشوهة عن الرسالة B_0 وهذا التشوه ناتج من قناة الاتصال و هو خطأ ندعوه استقبال نسخة مشوهة لرسالة ما. الآن في حالة حدوث خطأ من النوع الأول وبعد زمن الانتظار τ يقوم الإجراء بإدخال الآلة A في حالة تدعى حالة $error$ ومن ثم تعود للحالة m_1 بإرسالها الرسالة $errorD_0$ إلى الآلة D تخبرها فيها بوجود خطأ باستقبال D_0 وأما الآلة D وبعد استقبالها الرسالة $errorD_0$ فإنها ترجع للحالة m_1'' وتعيد إرسال الرسالة D_0 من جديد ، أما في حالة حدوث الخطأ الثاني فإن الآلة D عندما تكتشف هذا الخطأ فإنها تدخل في حالة تدعى حالة $error$ ومن ثم تعود للحالة m_0'' مرة أخرى بإرسالها الرسالة $errorB_0$ للآلة B تخبرها فيها بوجود خطأ باستقبال الرسالة B_0 وعندما تستقبل الآلة B هذه الرسالة فإنها تعود مرة أخرى للحالة m_1' وتعيد إرسال الرسالة B_0 للآلة D وبذلك يعود البرتوكول لتنفيذه الصحيح، يبين الشكل (6) التمثيل البياني لآلات البرتوكول بهذه الحالة :



الشكل (6):التمثيل البياني لبروتوكول الاتصال بنموذج شبكة الآلات التواصلية منتهية الحالة مع وجود أخطاء في قناة الاتصال كضياع رسالة في قناة الاتصال وكاستقبال نسخة مشوهة لرسالة ما.

يبين الشكل (7) التمثيل البياني لقناة الاتصال C في هذه الحالة :



الشكل (7): التمثيل البياني لقناة الاتصال بنموذج الآلة التواصلية منتهية الحالة في حال وجود أخطاء فيها كضياع رسالة في قناة الاتصال وكاستقبال نسخة مشوهة لرسالة ما.

الآن وبعد توصيف هذا البرتوكول بنموذج الآلات التواصلية المنتهية الحالة لابد من إثبات أن هذا البرتوكول الموصف بهذا النموذج خال من أخطاء التصميم المنطقية كالاحتباس وحلقات الحجز المؤقت وبالإضافة لتحقيقه بعض الخصائص الأخرى مثل أن يكون اتصاله خال من التسلسلات غير القابلة للتنفيذ ضمن شروط تنفيذ عادية ومتواصل . ومن أجل ذلك نستخدم تقانة " تحليل قابلية الوصول " التي تقوم باستكشاف جميع تسلسلات الأحداث القابلة للتنفيذ في البروتوكول وذلك من خلال بناء شجرة قابلية الوصول التي تضم جميع الحالات الشاملة القابلة للوصول في البروتوكول ابتداءً من الحالة الشاملة الابتدائية وذلك وفق خطوات الخوارزمية التالية:

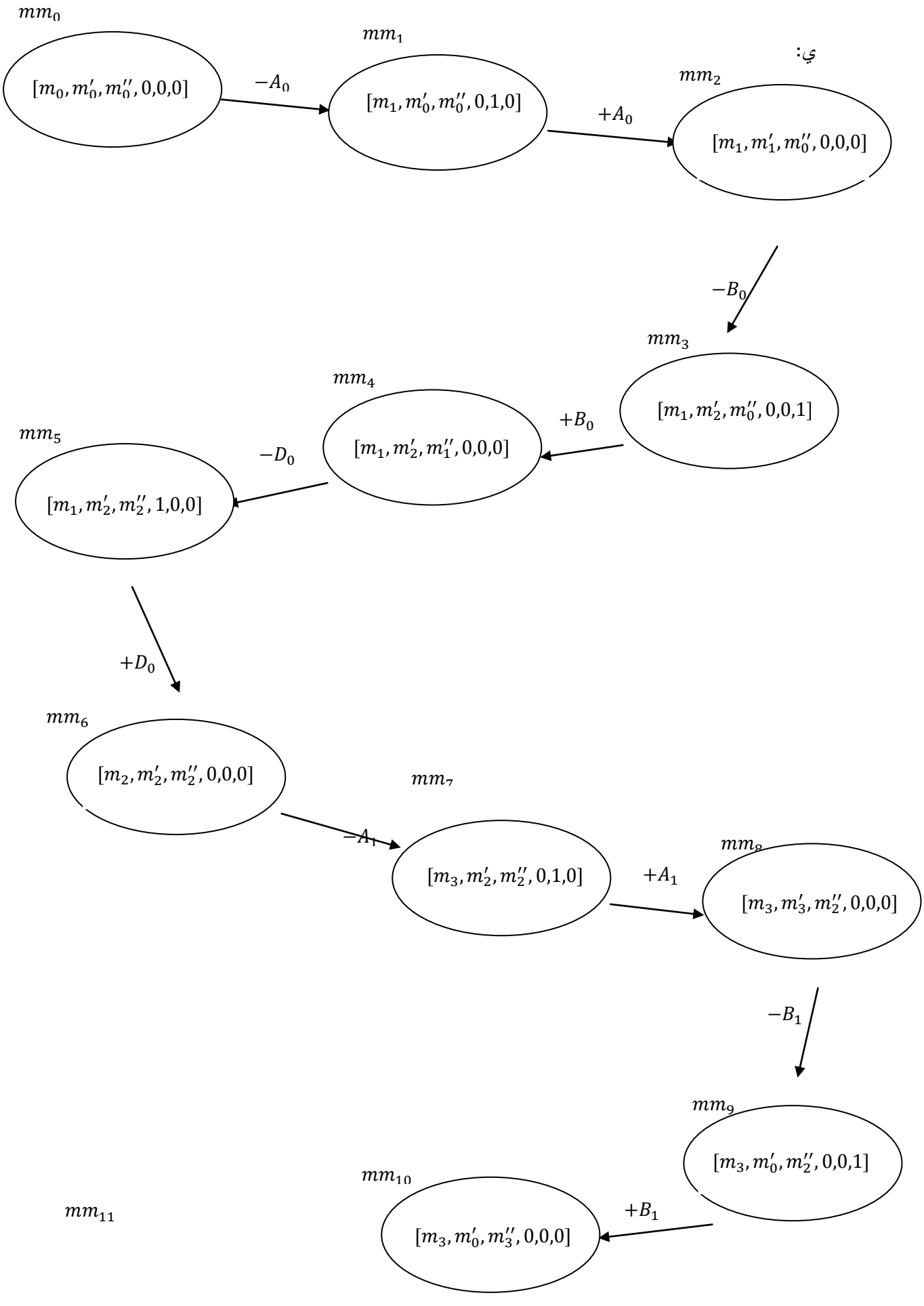
1- نضع جذر الشجرة الحالة الشاملة الابتدائية للبروتوكول.

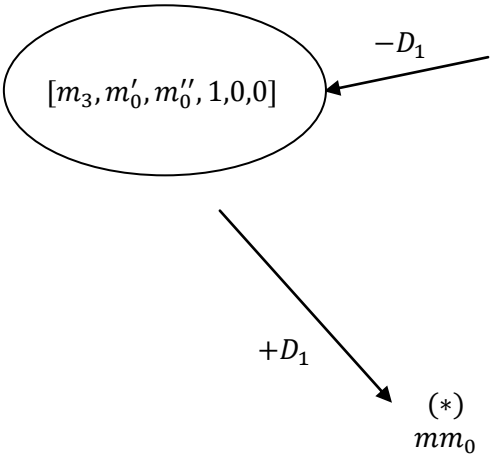
2- نبدأ بتوليد الخلف ابتداءً من الجذر أي نبدأ بتوليد جميع الحالات الشاملة القابلة للوصول في البروتوكول ابتداءً من الحالة الشاملة الابتدائية وذلك بتنفيذ انتقال مفرد في أحد أطراف البرتوكول .

3- يستمر التوليد حتى لا يعد هناك حالات شاملة مولدة .

4- إن الإشارات النجمية (*) تعني أن هذه الحالات تكون مولدة سابقاً.

وبتطبيق هذا الإجراء على برتوكولنا الموصف بنموذج الآلة التواصلية المنتهية الحالة نجد أن شجرة قابلية الوصول له تأخذ الشكل الآت


mm_0
$[m_0, m_0', m_0'', 0,0,0]$
$-A_0$
mm_1
$[m_1, m_0', m_0'', 0,1,0]$
$+A_0$
ي:
mm_2
$[m_1, m_1', m_0'', 0,0,0]$
$-B_0$
mm_3
$[m_1, m_2', m_0'', 0,0,1]$
$+B_0$
mm_4
$[m_1, m_2', m_1'', 0,0,0]$
$-D_0$
mm_5
$[m_1, m_2', m_2'', 1,0,0]$
$+D_0$
mm_6
$[m_2, m_2', m_2'', 0,0,0]$
$-A_1$
mm_7
$[m_3, m_2', m_2'', 0,1,0]$
$+A_1$
mm_8
$[m_3, m_3', m_2'', 0,0,0]$
$-B_1$
mm_9
$[m_3, m_0', m_2'', 0,0,1]$
$+B_1$
mm_{10}
$[m_3, m_0', m_3'', 0,0,0]$
mm_{11}



الشكل (8) : شجرة قابلية الوصول لبرتوكو

نلاحظ من هذه الشجرة أن البرتوكول خال من حالات الاحتباس وحالات الاستقبال غير المخصص وحلقات الحجز المؤقت كما أن اتصاله خال من التسلسلات غير القابلة للتنفيذ ضمن شروط تنفيذ عادية و أن اتصال هذا البروتوكول محدود بالعدد (1)، ومتواصل لأنه حلقي فهو يبدأ التنفيذ من الحالة الشاملة الابتدائية ويعود إليها دائماً. كما أن جميع الحالات الشاملة لهذا البرتوكول حالات حية.

6-الاستنتاجات والتوصيات

- تم في هذا البحث التعريف بنموذج شبكة الآلات التواصلية المنتهية الحالة كنموذج لتوصيف الأنظمة المنتهية الحالة كالشبكات الحاسوبية وأنظمة الاتصال وبروتوكولات اتصالها وتحليلها والتحقق من صحتها بحيث تكون خالية من أخطاء التصميم المنطقية.
- تم تطبيق هذا النموذج لتوصيف بروتوكول اتصال بسيط في حالتين الحالة الأولى عندما تكون قناة الاتصال بين أطراف البروتوكول مثالية خالية من الأخطاء والحالة الثانية عندما تكون غير مثالية.
- تم استخدام تقانة تحليل قابلية الوصول لاكتشاف أخطاء هذا البروتوكول وتحليله.
- تم استخراج الخواص التي يحققها هذا البروتوكول من شجرة قابلية الوصول.
- تم رسم شجرة قابلية الوصول لهذا البروتوكول بشكل دقيق وقابل للتطبيق.
- نلاحظ أن هذا البحث هام وفعال نظراً لتطبيقاته المتعددة في مجال الأنظمة الحاسوبية وأنظمة الاتصالات وبرتوكولاتها والأنظمة الموزعة.

ونظراً لما قدمته هذه الدراسة من نتائج هامة نوصي بضرورة تعميم هذه الدراسة على بروتوكولات اتصال أكثر تعقيداً.

المراجع

[1] Bollig, B. ; Fortin, M. ; Gastin, P. (2018). *Communicating Finite-State Machines and Two-Variable Logic***.** STACS .Vol. 9 , *International Proceedings in Informatics*. Leibniz-ZentrumfürInformatik, (No. 17) ,PP. PP.1-14.

[2] Bollig,B. ; Fortin, M.; Gastin, P.(2018). *It Is Easy to Be Wise After the Event: Communicating Finite-State Machines Capture First-Order Logic with "Happened Before"* . CONCUR.(No. 7) ,PP. 1-17.

[3] Gall, T. ; Jeannet, B. ; Jéron, T.(2006).*Verification of Communication Protocols Using Abstract Interpretation of Fifo Queues*, AMAST 2006**,** LNCS vol. 4019, pp. 204–219.

[4] Giua, A. ;Seatzu, C. (2015) , *Petri Nets for the Control of Discret Event Systems*. Software and Systems Modeling, vol. 14, PP 693–701.

[5] Holzmann, G. (1991). *Design and Validation of Computer Protocols*, Prentice- Hall ,U.S.A.

[6] Kushik, N. ; El-Fakih, K ; Yevtushenko, N. ; Cavalli, A. R. (2016). *On Adaptive Experiments for Nondeterministic Finite State Machines* .International Journal on Software Tools for Technology Transfer ,Vol. 18 (No. 3), PP. 251-264.

[7] Lange, J. ;Tuosto, E. ; Yoshida , N.(2015). *From Communicating Machines to Graphical Choreographies* **.***ACM SIGPLAN Notices*. Vol. 50 (No. 1) , PP. 221-232**.**

[8] Narayanan, V. (2018).*Alleviating State-space Explosion in Component-Based Systems with Distributed, Parallel Reachability Analysis Algorithm*.CoRR abs/1803. 07312.

[10] Peng,W. ; Makki,K.(2004). *Lossy Communicating Finite State Machines* Telecommunication Systems. Vol. 25 (No. 3), PP. 433–448 .