الباب الثالث

تصميم نماذج المحاكاة الإشهارية والوظيفية

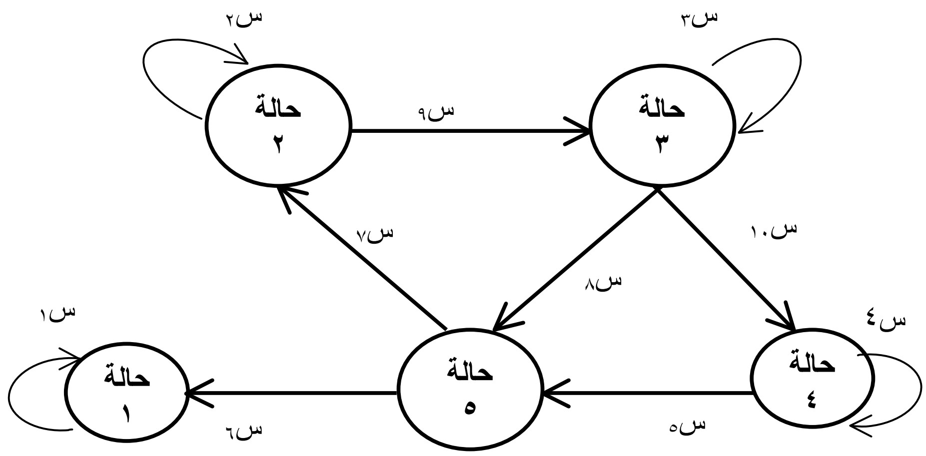
٣-١ المقدمة :

سنستعرض في هذا الباب كيفية تصميم نماذج المحاكاة بشيء من التفصيل لبعض أنواع نماذج المحاكاة الأكثر شيوعاً ، وهي النماذج الإشهارية (Declarative Models) والنماذج الوظيفية (Functional Models) . وسنقوم في سبيل ذلك بتعريف كل من النوعين المذكورين وأوجه ومواضع استخدامهما ، والخوارزميات المستخدمة لبناء النماذج وفقاً لكل نوع منهما . وسنعرض بعض الأمثلة لأنظمة يراد محاكاتها ونوضح كيفية بناء نماذج لها وفقاً لكل نوع من نوعي نماذج المحاكاة.

٣-٢ تصميم النماذج الإشهارية (Declarative Models) :

يعتمد الأسلوب الإشهاري (Declarative) للنمذجة على تصوير النظام من خلال سلسلة من الحالات التي يتقلب بينهما النظام، والتي تمثل مجموعة منتهية من النقاط في فراغ الحالة. وتستخدم النماذج الإشهارية عادة لنمذجة الأنظمة التي تعمل من خلال أطوار زمنية تمثل حالات محدودة يتقدم خلالها النظام عند وقوع الأحداث ، فبالتالي فهي تركز على جزئية حالات النظام وليس وظائف النظام وما يقوم به من معالجة للمدخلات لتحويلها إلى مخرجات. ولهذا السبب لا يحبذ استخدام النماذج الإشهارية لنمذجة الأنظمة التي ينظر إليها على أنها مكونة من مجموعة من المكونات الشيئية (Fishwick, 1995). بل إنه يفضل لتمثيل هذه الأنظمة استخدام النماذج الوظيفية التي تبرز دور مكونات النظام. وقد تستخدم النماذج الإشهارية في هذه الحالة لنمذجة عمل بعض هذه المكونات ، فتكون بذلك طبقة ثانية من النماذج بعد النماذج الوظيفية في تمثيل هذا النوع من الأنظمة .

وللشروع في بناء نموذج إشهاري للنظام ، فلابد من حصر وتعريف حالات هذا النظام والأحداث التي تؤدي إلى الانتقال من حالة لأخرى . ثم يتم تمثيل هذه الحالات – والتي يمكث النظام في كل منها لبرهة من الوقت – على شكل دوائر في شكل يسمى شكل انتقال الحالة (State – Transition Diagram) . وتمثل الأسهم التي تربط بين دوائر الحالات كيفية انتقال النظام من حالة إلى حالة أخرى عند وقوع حدث معين يرتبط بتغير قيمة مدخل أو أكثر من مدخلات النظام ، ويظهر هذا المدخل وقيمته التي تؤدي إلى انتقال حالة النظام أعلى السهم الذي يربط بين الحالة الحالية والحالة الجديدة. ويبين الشكل رقم (٣-١) مثالاً لنموذج إشهاري لأحد الأنظمة. وتسمى النماذج الإشهارية التي توصف من خلال أشكال انتقال الحالة النماذج المبنية على الحالة . وسنرى لاحقاً أنه بالإمكان أيضاً وصف النماذج الإشهارية عن طريق بناء النموذج الإشهاري اعتماداً على الأحداث التي تقع فيه بحيث تكون هذه الأحداث هي محور ارتكاز النموذج . ويسمى هذا النوع من النماذج الإشهارية النماذج المبنية على الأحداث.



الشكل رقم (٣-١) : شكل انتقال الحالة لوصف نموذج إشهاري لأحد الأنظمة بين عدد من الحالات اعتماداً على قيمة المدخل س = { س١، س٢، ... ، س١٠}

وبالعودة إلى الشكل رقم (٣-١) ، نلاحظ أن انتقال النظام من كل حالة إلى الحالة المجاورة لها تم بناء على حصول قيمة معينة لمتغير المدخل س. ونشير هنا إلى أن انتقال النظام بين الحالات قد يحدث أيضاً بناء على حصول قيم معينة لمجموعة من متغيرات المدخلات وليس مدخلاً واحداً. وإذا كان انتقال النظام يتم قطعاً إذا ما حصلت القيم المعينة من متغيرات المدخلات فيكون النظام محدداً (Deterministic) . أما إذا كان انتقال النظام من حالة إلى حالة يحدث فقط باحتمالية إحصائية معينة فيكون النظام عشوائياً أو غير محدد (Nondeterministic) .

ولبناء نموذج محاكاة إشهاري ، علينا تحويل شكل انتقال الحالة للنظام إلى خوارزم يقبل البرمجة على الحاسب الآلي. ولعمل ذلك سنحتاج إلى تعريف متغيرات أساسية في برنامج المحاكاة تناسب طبيعة النماذج الإشهارية. على سبيل المثال ، سوف نحتاج إلى متغير يبين حالة النظام الحالة وقيمة أو قيم متغير أو متغيرات المدخلات للنظام ، كما سنحتاج إلى جدول يخزن قيم النطاق والنطاق المصاحب لما يسمى الحالة التحويلية للنظام والتي تقوم في هذه الحالة بإخراج معرف أو اسم الحالة الجديدة للنظام بدلالة معرف أو اسم الحالة الحالية وقيمة أو قيم متغيرات المدخلات الحالية ، وذلك لجميع حالات النظام ولجميع قيم متغيرات مدخلات النظام . فإذا توفر لدينا من شكل انتقال الحالة الجدول الكامل المعرف للدالة التحويلية

للنظام؛ فإنه يمكننا كتابة خوارزم محاكاة النظام حسب النموذج الإشهاري المحدد المبني على الحالة كالتالي (Fishwick, 1995):

١- ابتدئ قيم ساعة النظام عند الصفر وحالته عند الحالة الابتدائية .

٢- كرر حتى وقوع شرط نهاية المحاكاة ما يلي :

أ- اخرج معرف أو اسم الحالة الحالية للنظام .

ب- حرك ساعة المحاكاة بمقدار ثابت .

ج - انقل حالة النظام إلى الحالة التالية اعتماداً على الحالة الحالية وبناء على القيم الحالية لمتغيرات المدخلات .

<u>مثال:</u> صمم نموذج محاكاة لنظام إشارة مرور رباعية .

<u>الحل:</u> إذا افترضنا أن إشارة المرور في كل اتجاه تتغير بين الألوان أحمر (R) وأخضر (G) وأصفر (Y) .

ونفترض أن اتجاه السير يكون مفتوحاً في اتجاه واحد فقط في آن واحد ، أي أن الإشارة تكون على اللون الأخضر إما في الاتجاه الشمالي (N) أو الجنوبي (S) أو الشرقي (E) أو الغربي (W) . كما نفترض أن زمن بقاء الإشارة في كل من الاتجاهات الأربعة على اللون الأخضر هو (٣ز) وعلى اللون الأصفر هو (ز) .

ونخلص مما سبق أن نظام الإشارة الضوئية للتقاطع الرباعي سوف يمر بثماني حالات :

١- الحالة (NG) وتمثل الحالة عندما تكون الإشارة خضراء في الاتجاه الشمالي وحمراء في الاتجاهات الثلاثة الأخرى .

٢- الحالـة (NY) وتمـثل الحالـة عندما تكـون الإشارة صفراء في الاتجاه الشمالي وحمراء في الاتجاهات الثلاثة الأخرى .

٣- الحالـة (SG) وتمثل الحالـة عندما تكون الإشارة خضراء في الاتجاه الجنوبي وحمراء في الاتجاهات الثلاثة الأخرى .

٤- الحالـة (SY) وتمثل الحالـة عندما تكون الإشـارة صفراء في الاتجاه الجنوبي وحمراء في الاتجاهات الثلاثة الأخرى .

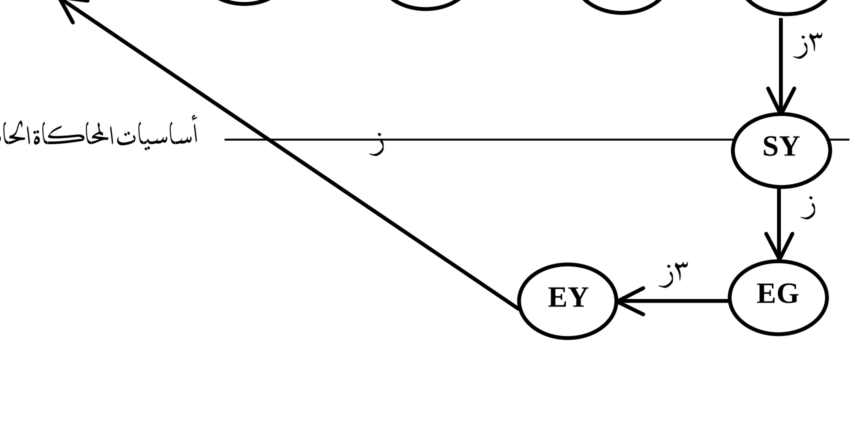
٥- الحالـة (EG) وتمثل الحالـة عندما تكون الإشارة خضراء في الاتجاه الشرقي وحمراء في الاتجاهات الثلاثة الأخرى .

٦- الحالـة (EY) وتمثل الحالـة عندما تكون الإشـارة صفراء في الاتجاه الشرقي وحمراء في الاتجاهات الثلاثة الأخرى .

٧- الحالـة (WG) وتمثل الحالة عندما تكون الإشارة خضراء في الاتجاه الغربي وحمراء في الاتجاهات الثلاثة الأخرى .

٨- الحالـة (WY) وتمثل الحالـة عندما تكون الإشارة صفراء في الاتجاه الغربـي وحمراء فـي الاتجـاه الغربي وحمراء في ا لاتجاهات الثلاثة الأخرى .

وعليه فيكون تمثيل النظام على شكل نموذج إشهاري كما هو مبين في شكل انتقال الحالة في الشكل رقم (٣-٢) .



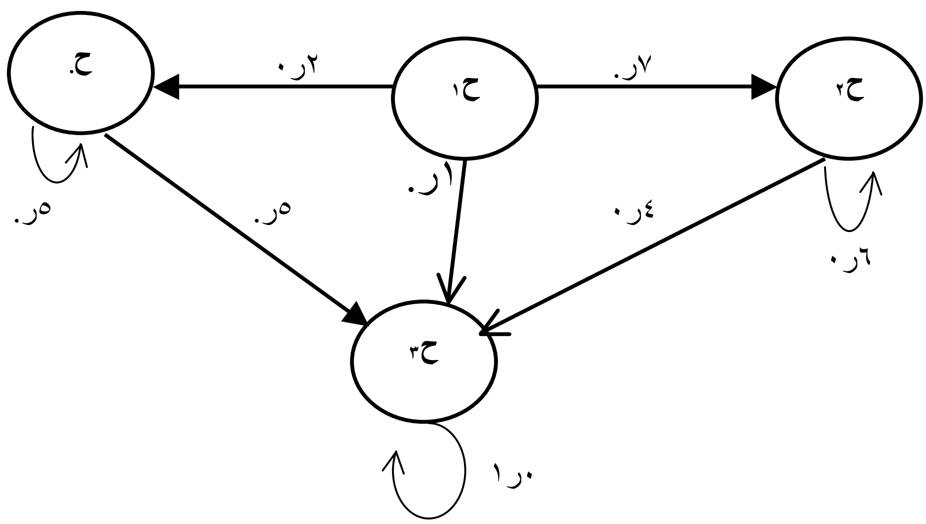
الشكل رقم (٣-٢) : شكل انتقال الحالة لنموذج إشهاري يحاكي عمل إشارة ضوئية لتقاطع رباعي

٣-٢-١ النماذج الإشهارية للأنظمة العشوائية:

تتميز الأنظمة العشوائية التي يمكن نمذجتها باستخدام النماذج الإشهارية بوجود عدد محدود من حالات النظام التي يتقلب النظام بينها بصورة عشوائية وباحتماليات معروفة للانتقال من حالة إلى حالة أخرى مجاورة لها . وتعتمد هذه الاحتماليات على الحالة الراهنة فقط التي يكون فيها النظام ، ولا تعتمد على أي من الحالات السابقة لها التي مر بها النظام قبل أن يصل إلى حالته الراهنة. وتسمى مثل هذه النماذج الإشهارية العشوائية بنماذج ماركوف (Markov Models) أو سلاسل ماركوف (Markov Chains) . وتعرف سلسلة ماركوف رياضياً على أنها العملية العشوائية المتقطعة $X=\{X_n:n=1,2,\ldots\}$ التي تحقق الشرط التالي :

$$\Pr\{X_{n+1} = k \mid X_0, X_1, \ldots, X_n\} = \Pr\{X_{n+1} = k \mid X_n\}$$

ومعنى هذا التعريف في سياق النماذج الإشهارية أنه في نماذج ماركوف ، سوف تعتمد احتمالية انتقال النظام إلى الحالة الجديدة k فقط على الحالة الحالية للنظام X_n ، ولن تعتمد على أي من الحالات التي مر بها النظام سابقاً قبل هذه الحالة. وعادة ما يتم تمثيل نماذج ماركوف على شكل مصفوفة تسمى مصفوفة الانتقال (Transition Matrix) يمثل كل عنصر P(i, j) فيها احتمالية انتقال النظام من الحالة i إلى الحالة j في هذا النموذج. ورسومياً، يمكن تمثيل نماذج ماركوف أيضاً من خلال شكل انتقال الحالة ، إلا أن الأسهم التي توصل بين حالات النظام المختلفة يتم ترقيمها بقيمة احتمالية انتقال النظام من الحالة الأولى إلى الحالة الثانية. ويوضح الشكل رقم (٣-٣) مثالاً لشكل انتقال الحالة لنموذج إشهاري عشوائي لأحد الأنظمة يوضح كيفية تمثيل حالات النظام المختلفة وعملية انتقال النظام من حالة إلى حالة حسب الاحتماليات المبينة على الأسهم الرابطة بين هذه الحالات .



الشكل رقم (٣-٣) : شكل انتقال الحالة لنموذج إشهاري عشوائي لأحد الأنظمة يبين احتماليات انتقال النظام من كل حالة إلى الحالة المجاورة لها

ونلاحظ في الشكل رقم (٣-٣) أن مجموع الاحتماليات للأسهم الخارجة من كل حالة يجب أن يكون واحداً صحيحاً ، نظراً لأن كل سهم خارج من كل حالة يعبر عن احتمال إحصائي لانتقال حالة النظام من الحالة التي يخرج منها السهم إلى الحالة التي ينتهي إليها السهم . كما نلاحظ أنه من الممكن أيضاً أن نمثل النموذج الذي يشير إليه الشكل رقم (٣-٣) على شكل مصفوفة انتقال كالتالي :

$$P = \begin{bmatrix} P(0,0) & P(0,1) & P(0,2) & P(0,3) \\ P(1,0) & P(1,1) & P(1,2) & P(1,3) \\ P(2,0) & P(2,1) & P(2,2) & P(2,3) \\ P(3,0) & P(3,1) & P(3,2) & P(3,3) \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0.2 & 0 & 0.7 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0.6 & 0.4 \\ 0.1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

ومما سبق يتضح لنا أنه يلزمنا معرفة الحالات التي يتقلب بينها النظام العشوائي المطلوب بناء نموذج إشهاري له ، وأيضاً معرفة الاحتماليات

لانتقال هذا النظام من حالة إلى أخرى. ولو توفرت هذه المعلومات للمحلل فبإمكانه كتابة خوارزم محاكاة مثل هذا النظام بدلالة النموذج الإشهاري العشوائي (نموذج ماركوف) كالتالي (Fishwick, 1995):

١- ابتدئ قيم ساعة النظام عند الصفر وحالته عند الحالة الابتدائية .

٢- كرر حتى وقوع شرط نهاية المحاكاة ما يلي :

أ- اخرج معرف أو اسم الحالة الحالية للنظام .

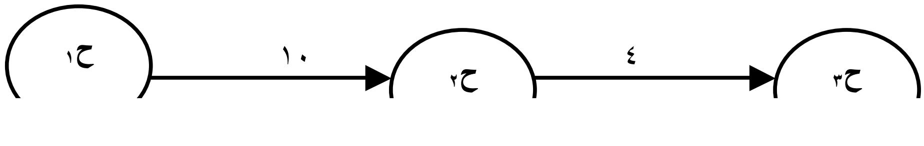
ب- حرك ساعة المحاكاة إلى زمن وقوع حدث الانتقال إلى الحالة الجديدة.

ج- انقل حالة النظام إلى الحالة المجاورة الجديدة بناء على القيمة المسحوبة لمتغير احتمالية الانتقال العشوائي .

٣-٢-٢ النماذج الإشهارية غير العشوائية المبنية على الأحداث :

ذكرنا في معرض تعريفنا سابقاً لمفهوم الحدث والحالة أن الحدث هو مفهوم مرتبط بمفهوم الحالة من حيث إن الحدث هو اللحظة التي ينتقل فيها النظام من حالة سابقة - مكث فيها بعض الوقت- إلى حالة أخرى جديدة يمكث أيضاً فيها بعض الوقت.

ومن مقتضيات هذا الارتباط أنه يمكن بناء النماذج الإشهارية التي رأيناها حتى الآن بصورة مكافئة بحيث تبنى هذه النماذج على مفهوم "الحدث" بدلاً من "الحالة" وتسمى مثل هذه النماذج بالنماذج الإشهارية المبنية على الأحداث، وتمثل هذه النماذج باستخدام أشكال تسمى "رسوم الأحداث" أو (Event Graphs) والتي تمثل فيها الدوائر أحداثاً بدلاً من



الحالات ، وتمثل فيها الأسهم الموصلة بين الدوائر الحالات التي يتواجد فيها النظام بين وقوع الحدث ووقوع الحدث الذي يليه ، كما يصاحب كل من هذه الأسهم بيان بطول الفترة الزمنية التي يمكث فيها النظام في هذه الحالة الحالية قبل وقوع الحدث التالي والذي يغيره إلى حالة أخرى. ويوضح الشكل رقم (٣-٤) مثالاً لرسم الأحداث لأحد الأنظمة يتكون من ستة أحداث متكررة هي {ح$_{١}$ ، ح$_{٢}$، ح$_{٣}$، ح$_{٤}$، ح$_{٥}$ ، ح$_{٦}$} :

الشكل رقم (٣-٤) : رسم الأحداث لنظام يمكن بناء نموذج إشهاري له من ستة أحداث

ونرى من الشكل رقم (٣-٤) أن النظام المبين في الشكل يعمل من خلال وقوع سلسلة متكررة من الأحداث هي ح$_{١}$ والتي تضعه في حالة يمكث بها لمدة ١٠ وحدات زمنية، ثم ينتقل بعدها على حالة أخرى بوقوع الحدث ح$_{٢}$ يمكث بها ٤ وحدات زمنية ، ثم يقع الحدث ح$_{٣}$ فينتقل إلى الحالة التالية والتي يمكث بها لمدة ٧ وحدات زمنية ، وهكذا حتى يقع الحدث ح$_{٦}$ والذي يمكث بعده النظام في حالة جديدة لمدة ٥ وحدات زمنية ثم يقع بعدها مرة أخرى الحدث الأول في الدورة ح$_{١}$.

ونظراً للارتباط المنطقي بين النماذج الإشهارية المبنية على الحالات وتلك المبنية على الأحداث، فإنه بالإمكان التحويل من أحد النوعين إلى الآخر. فللتحويل من نماذج مبنية على الحالة على نماذج مبنية على الأحداث علينا القيام بالتالي :

١- استبدال أسماء الحالات في شكل انتقال الحالة بأسماء الأحداث.

٢- استبدال قيم المدخلات على الأسهم في شكل انتقال الحالة بقيم الأزمنة التي يمكث فيها النظام في كل من الحالات التي يمر بها.

وبهذه الكيفية نحصل على رسم الأحداث المحدد للنموذج المبني على الأحداث من شكل انتقال الحالة المعبر عن النموذج المبني على الحالة. وللتحويل من رسم الأحداث إلى شكل انتقال الحالة ، علينا عمل خطوات مماثلة كالتالي:

١- استبدال الأحداث المتتالية في رسم الأحداث بأسماء للحالات التي يكون عليها النظام بين كل من هذه الأحداث.

٢- استبدال الأزمنة على الأسهم الموصلة بين الأحداث في رسم الأحداث بقيم جديدة لواحد أو مجموعة من مدخلات النظام الخارجية أو الداخلية والتي يعبر تغير هذه المدخلات إليها عن وقوع حدث معين يؤدي إلى تغير حالة النظام من الحالة الراهنة إلى الحالة التالية في شكل انتقال الحالة . ويقتضي ذلك تعريف متغيرات المدخلات (الداخلية للنظام أو الخارجية عن النظام) المناسبة للتعبير عن أحداث النظام المختلفة.

٣-٣ تصميم النماذج الوظيفية (Functional Models) :

تستخدم النماذج الوظيفية عندما يتكون النظام المطلوب محاكاته من مجموعة أشياء (Objects) تتفاعل بداخل النظام مع بعضها البعض ولكل منها وظيفة محددة ذات خصائص واضحة . وعند بناء النموذج الشيئي للنظام (Object-Oriented Model) تمثل هذه الوظائف على شكل طرق (Methods) وتتحول الخصائص إلى صفات (Attributes) وعندما تكون هذه الأشياء متصلة ببعضها بشبكة أو مسارات محددة ، فعندئذ يُعرف هذا النموذج بالنموذج الوظيفي. وتتميز الأنظمة التي تتوافق مع النمذجة الوظيفية بوجود تدفق لكائنات مؤقتة من مكونات النظام بين الأشياء المستديمة التي توجد في هذا النظام، وبالترتيب أو المسار الذي تحدده الشبكة الرابط بين هذه الأشياء.

ومن أمثلة هذه الأنظمة في الواقع ما يعرف بأنظمة صفوف الانتظار (Queuing Systems) التي تتكون من محطات معالجة هي بمثابة أشياء مستديمة تقوم بوظيفة معينة على كل ما يمر بها من كائنات مؤقتة تسري في النظام ، ولكل منها خصائص معينة تميزها عن غيرها. ويكون مرور الكائنات المؤقتة عبر المحطات من خلال مسار محدد تعبر عنه الشبكة الرابطة بين هذه المحطات. ومن أمثلة أنظمة صفوف الانتظار في الواقع أنظمة المصانع التي تمر فيها المصنوعات عبر آلات معينة تمثل محطات معالجة وبترتيب ومسار معين حتى ينتهي تصنيفها وتخرج باعتبارها منتجًا

متكاملاً. وفيما يلي نلقي الضوء على تفاصيل أنظمة صفوف الانتظار وكيفية بناء النماذج الوظيفية.

٣-٤ أنظمة طوابير الانتظار **(Queuing Systems) :**

كما أوردنا سلفاً ، تستخدم النماذج الوظيفية لنمذجة الأنظمة التي تتكون من وحدات بناء مستقلة تقوم كل منها بوظيفة محددة وترتبط مع بعضها البعض في شبكة ذات هيكل واتجاه معين . وتقوم كل من هذه الوحدات بتنفيذ عملية تمثل الوظيفة المميزة لهذه الوحدة تقوم من خلالها بمعالجة الكائنات المؤقتة التي تمر خلالها وتقديم *الخدمة* لها . وينتج عن ذلك تغيير في قيمة متغيرات الحالة لهذه الكائنات المؤقتة التي تغادر وحدة المعالجة الحالية إلى المحطة التالية في شبكة الوحدات التي يتكون منها مثل هذا النظام . ويسمى مثل هذا النظام بنظام طوابير الانتظار (Queuing System) ولنمذجة مثل هذا النظام سوف نحتاج إلى تمثيل أحداث وصول الأشياء المؤقتة إلى محطات الخدمة ، وحصول هذه الأشياء على الخدمة ثم مغادرتها ، بالإضافة إلى تمثيل انتقال الأشياء المؤقتة (ويطلق عليها أيضاً العملاء) من طابور إلى طابور حتى انتهاء خدمتهم وخروجهم من النظام .

وتتكون أنظمة طوابير الانتظار من ثلاثة عناصر رئيسة تكتسب منهم خصائصها الأساسية وهم:

١- عملية وصول العملاء .

٢- عملية خدمة العملاء .

٣ـ نظام الطابور .

وتصف عملية وصول العملاء إلى النظام الكيفية التي يصل بها العملاء إلى النظام من الناحية الإحصائية ، حيث تحدد عملية الوصول من خلال تحديد التوزيع الإحصائي للمتغيرات العشوائية $A_1, A_2, A_3, ...$ التي تمثل الأزمنة الفاصلة بين وصول العميلين رقم ١،٢ ، وبين العميلين ٢ ، ٣ وهكذا . وعادة ما يفترض ـ بناء على خصائص النظام ـ أن التوزيع الإحصائي متماثل لهذا المتغيرات العشوائية وأنها مستقلة إحصائياً . أما عملية خدمة العملاء فيحددها عدد محطات الخدمة ونوعية التوزيع الإحصائي للمتغير العشوائي الذي يمثل زمن الخدمة عند كل من هذه المحطات. وفيما يتعلق بنظام الطابور (Queuing Discipline) فهو بمثابة القانون الذي يحكم العملاء في طابور معين من حيث الأحقية في الدور للوصول إلى محطة الخدمة التي تلي هذا الطابور. فقد تكون الأولوية لمن وصل إلى الطابور أولاً أو لمن وصله آخراً أو لفئة معينة من العملاء، وهكذا.

وقد جرت العادة بتسمية نظام الطوابير بناء على نظام الرموز التالي : $L_1/L_2/m$ ، حيث يرمز الحرف L_1 إلى نوع التوزيع الإحصائي للمتغيرات العشوائية للأزمنة الفاصلة بين وصول العملاء ، ويرمز الحرف L_2 إلى نوع التوزيع الإحصائي للمتغير الإحصائي الذي يمثل عملية خدمة العملاء في النظام، كما يمثل العدد الصحيح m عدد محطات الخدمة التي تلي طابور الانتظار الجاري وصفه. فعلي سبيل المثال، عندما يكون التوزيع الإحصائي لمتغيرات وصول العملاء من نوع (Exponential)، وعندما يكون التوزيع الإحصائي لمتغير خدمة العملاء أيضاً من نوع (Exponential) وعدد

محطات الخدمة هو واحد ، فإن نظام طابور الانتظار يرمز له بالرمز (M/M/l) ، حيث يستخدم الحرف M للإشارة إلى توزيع (Exponential) نسبة إلى خاصية الماركوفية المعروفة لهذا التوزيع في علم الإحصاء.

ومن أهم الكميات التي تصف خصائص أنظمة الطوابير ما يلي :

١ـ متوسط زمن خدمة العميل (S) .

٢ـ متوسط زمن انتظار العميل في الطابور(D) .

٣ـ المتوسط في وحدة الزمن لعدد العملاء في الطابور(Q) .

٤ـ معدل وصول العملاء إلى النظام (λ).

٥ـ معدل خدمة العملاء في محطة الخدمة ($1/\mu$) .

٦ـ نسبة الاستفادة من محطة الخدمة (Server Utilization) التي يرمز لها عادة بالرمز (ρ) وتحسب باستخدام العلاقة التالية :

$$r = \frac{l}{m}$$

ويمكن بالرجوع إلى نظرية أنظمة الطوابير إيجاد صيغ مغلقة لحاسب كميات تعبر عن مقاييس أداء أنظمة طوابير الانتظار مثل :

$$Q = \lambda D$$

$$L = \lambda W$$

حيث L هي المتوسط الزمني لعدد العملاء في النظام (تساوي Q + عدد العملاء الجاري خدمتهم) وW هي متوسط زمن انتظار العميل في

النظام متوسط زمن الانتظار في الطابور وأثناء الخدمة. وعلى الرغم من وجود علاقات رياضية محددة تصف خصائص أنظمة الطوابير من خلال تحديد قيمة متغيرات مقاييس الأداء المهمة لهذه الأنظمة ، إلا أن هذه الصيغ يمكن اشتقاقها فقط لبعض تلك الأنظمة التي لها خصائص إحصائية معينة يمكن معها اشتقاق هذه الصيغ الرياضية بنجاح . أما ما عدا هذه الأنظمة ، فلا تسعف نظرية طوابير الانتظار الرياضية في حساب خصائصها وينبغي لعمل ذلك الاعتماد على وسائل أخرى بديلة مثل المحاكاة الحاسوبية .

ولمحاكاة أنظمة طوابير الانتظار المتعددة المحطات ، ينبغي أولاً التعرف إلى أسلوب نمذجة طابور الانتظار البسيط الأحادي الخدمة . وإذا اعتمدنا أسلوب المحاكاة المتقطعة الأحداث فيمكن تمثيل نموذج محاكاة طابور الانتظار الأحادي الخدمة وفقاً للخوارزم التالي :

١- ابتدئ قيم ساعة النظام عند الصفر وحالته عند الحالة الابتدائية لجميع المحطات .

٢- كرر حتى وقوع شرط نهاية المحاكاة ما يلي:

أ- إذا كان الحدث الحالي هو "وصول عميل" نفذ إجراء محاكاة حدث "وصول عميل" .

ب- إذا كان الحدث الحالي هو " انتهاء خدمة عميل" نفذ إجراء محاكاة حدث "إنهاء خدمة عميل".

٣- اطبع النتائج الإحصائية للمحاكاة.

ومن الممكن كتابة إجراء حدث " وصول عميل" على النحو التالي :

أ- جدول حدث وصول عميل جديد.

ب- إذا كانت محطة الخدمة شاغرة ولا يوجد أحد في الطابور ابدأ الخدمة وجدول حدث "انتهاء خدمة عميل".

وإذا كان هناك أحد في الطابور ، أضف العميل الجديد إلى نهاية الطابور.

كما يمكن كتابة إجراء حدث "انتهاء خدمة عميل" على النحو التالي:

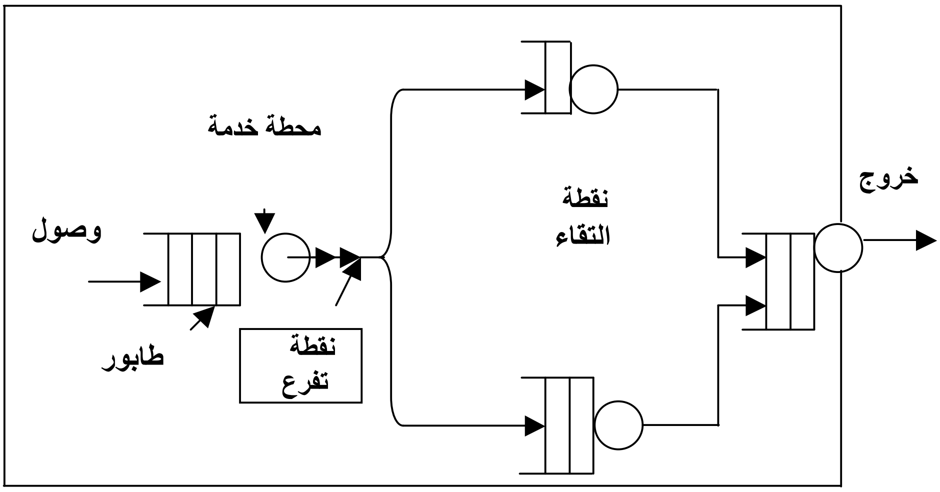
أ- احذف العميل من النظام.

ب- إذا كان هناك عملاء ينتظرون في الطابور ابدأ خدمة العميل التالي في الدور وجدول حدث جديد من نوع " انتهاء خدمة عميل "

وإذا لم يكن هناك عملاء ينتظرون في الطابور أعلن أن محطة الخدمة شاغرة .

وعموماً ، من المرجح أن يتألف نظام طوابير الانتظار من مجموعة متشابكة من محطات الانتظار التي يسبق كل منها طابور(أو يسبق كل مجموعة منها طابور) ، ويسري العملاء منذ لحظة دخولهم عبر هذه الشبكة في اتجاه محدد حتى يتموا حصولهم على الخدمة ثم يغادروا حدود النظام. ومن المحتمل هنا أن تكون حركة العملاء بعد انتهاء الحصول على الخدمة من محطة مرحلية إلى المحطة التالية معتمدة على شرط معين بحسب نوع

العميل أو بحسب احتمالية إحصائية معينة. ويوضح الشكل رقم (٣-٥) مثالاً لشبكة من طوابير الانتظار تحتوي على نقاط تفرع كما هو مذكور أعلاه .



الشكل رقم (٣-٥) : مثال على شبكة من طوابير الانتظار ذات نقاط تفرع

مثال :

ارسم خرائط منطقية لنمذجة ومحاكاة نظام صراف بنكي باستخدام طوابير الانتظار مكون من موظف واحد يقوم بأعمال الصراف وصف انتظار واحد لعملاء البنك للوقوف لانتظار الخدمة . افترض أن معدل وصول العملاء إلى البنك هو (ص) عميل في الدقيقة ومتوسط زمن خدمة العميل الواحد هو (خ) دقيقة .

الحل :

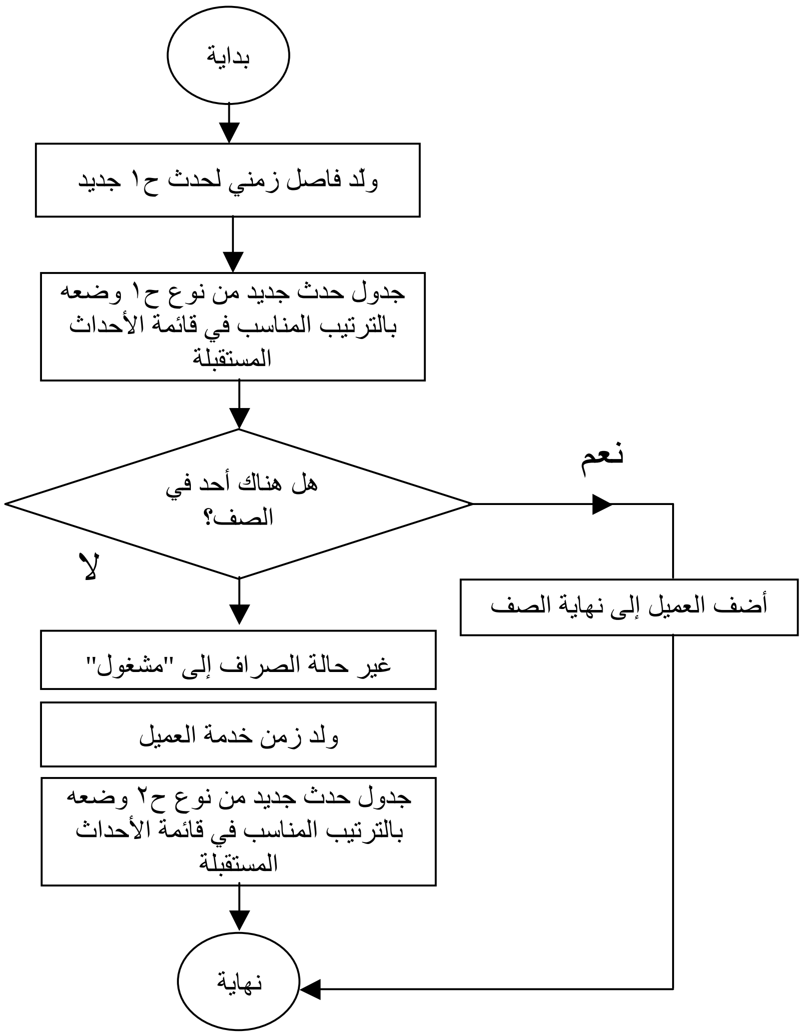
في هذا النظام ، يمكننا التعرف إلى النوعين التاليين من الأحداث :

ح١ : وصول عميل .

ح٢ : انتهاء خدمة عميل.

ولكل من هذين النوعين ، علينا كتابة الخارطة المنطقية التي توضح الإجراء الذي يجب تنفيذه لمحاكاة الأحداث من كل من هذين النوعين.

إجراء الأحداث من نوع ح١



إجراء الأحداث من نوع ح٢: