المملكة العربية السعودية

كتاب العربية

مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية KACST

هندسة البرمجيات

تأليف: جاك برينتز

ترجمة: زينا مغربل

مراجعة: د. محمد مراياتي

١٤٣٦هـ - ٢٠١٥م

ماذا أعرف؟

Que sais-je?

المملكة العربية السعودية

مدينة الملك عبدالعزيز
للعلوم والتقنية KACST

كتاب العربية

هندسة البرمجيات

تأليف: جاك برينتز

ترجمة: زينا مغربل

مراجعة: د. محمد مراياتي

١٤٣٦هـ - ٢٠١٥م

Que sais-je?

ماذا أعرف؟

ح مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية، ١٤٣٦هـ
فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

برينتز، جاك
هندسة البرمجيات. /جاك برينتز؛ زينا مغربل؛ محمد
مراباتي. ـ الرياض، ١٤٣٦هـ
..ص؛ ..سم
ردمك: ٢-٧٩-٨٠٤٩-٦٠٣-٩٧٨
١- البرمجيات ٢- الهندسة - برامج الحواسيب
أ.زينا، مغربل (مترجم) ب.مراياتي، محمد (مراجع) ج.العنوان
ديوي ٠٠٥,١ ١٤٣٦/٧٢٤٧

رقم الإيداع: ١٤٣٦/٧٢٤٧
ردمك: ٢-٥٩-٨٠٤٩-٦٠٣-٩٧٨

مدينة الملك عبدالعزيز
للعلوم والتقنية KACST

مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية
ص.ب. ٦٠٨٦ الرياض ١١٤٤٢
المملكة العربية السعودية
هاتف: ٤٨٨٣٤٤٤ - ٤٨٨٣٥٥٥ **فاكس:** ٤٨٨٣٧٥٦
الموقع الالكتروني: www.kacst.edu.sa
إصدارات المدينة: publications.kacst.edu.sa
البريد الالكتروني: awareness@kacst.edu.sa

رقم الإيداع الدولي للأصل بالفرنسية:
ISBN 2 13 053309 4
الطبعة الخامسة

تم الإصدار ضمن التعاون المشترك بين مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية
والمجلة العربية (الثقافة العلمية للجميع)

مقدمة

هندسة البرمجيات علم هندسي غايته صنع الأنظمة المعلوماتية، وهي أنظمة معقدة في أغلب الأحيان، إذ تتضمن كلَّ ما يتعلق بمعالجة المعلومات اللازمة لحسن سير صناعاتنا، وأشكال الإدارة، والاتصالات، وأنظمتنا الدفاعية -أي بإيجاز- منظومتنا الاجتماعية والاقتصادية بأسرها.

ويتكون النظام المعلوماتي من مجموعة من الحواسيب، المتنوعة المصدر والقدرة، والمترابطة فيما بينها بواسطة شبكات محلية (الشبكات المؤسسية الداخلية) وشبكات خارجية (الشبكات المؤسسية البينية)، فضلاً عن أجهزة طرفية متعددة (جهاز صرف آلي، رادار، إنسان آلي...)، من شأنها استقبال المعلومات وإعادة إرسالها ضمن بيئتها.

ويتألف نظام من هذا القبيل مما يلي:

- العنصر المادي- المعدات (مثل الحواسيب والطرفيات وأجهزة المودم المختلفة، وأجهزة توزيع الشبكة، وأجهزة المكشاف والمشغل إلخ...) التي تتولى توليد الطاقة الإجمالية لمعالجة وربط النظام بالعالم الخارجي.
- العنصر المنطقي- البرمجيات المسؤولة عن الوظائف المنطقية اللازمة لأداء شتى عمليات معالجة وحفظ المعلومات.

وتأتي هذه البرمجيات في ثلاثة أنواع:

- البرمجيات الخاصة بمُصَنِّع المعدات وهي بالغة الارتباط بالمعدات؛
- حزمة البرمجيات التي يصيغها مطورو البرمجيات، والتي تضمن القيام بوظائف محددة، وهي أشبه بصناديق سوداء أي لا يسمح للمستخدم بالدخول إليها وتعديلها ولكن تستخدم عن طريق متغيرات وسيطة.
- البرمجيات المطورة خصيصاً لخدمة أغراض مؤسسات الاعمال،

سواء من قبل المؤسسة ذاتها أو عن طريق شركات الخدمات.

وتعنى هندسة البرمجيات بعمليات تصنيع البرمجيات المختلفة بشكل يضمن:

- تلبية المُنتَج المُصنَّع لاحتياجات صاحبه بشكل صحيح ودقيق (وهو المالك أي العميل النهائي)؛
- اقتصار التكاليف ومدد التنفيذ، على الحدود المرسومة منذ البداية؛
- الالتزام بعقد الخدمة (من حيث الأداء وسلامة التشغيل، والأمن، إلخ...) طيلة استخدام برنامج الحاسوب لاحقاً.

وكما يبين مصطلح software (سوفتوير)* باللغة الانجليزية، يمكن اعتبار البرمجيات الجزء اللين أو المرن من النظام الذي نستطيع تعديله كما نشاء، وفق مواطن الحاجة المستجدة طيلة استخدامنا للنظام. وتعد هذه القدرة على التطور سمة مميزة بالغة الأهمية للبرمجيات، لأنها بمثابة العنصر المحدد لعمر النظام (المرونة وقابلية التكيف وسهولة الاستخدام)، وبالتالي فهي العنصر المحدد لتكلفة الاستهلاك.

وتهتم هندسة البرمجيات بما «وراء البرمجيات»، فهي ترسي عدداً من القواعد الثابتة والضمانات، التي تكون بمثابة شروط تضمن سير عملية التصنيع على نحو سليم. وكسائر العلوم متعددة التخصصات أو «تخصصات الميتا Metadiscipline» يتأصل علم البرمجيات في عملية تطوير البرمجيات، مع البحث المستمر عن شروط فعاليته ومدى ملاءمة الأدوات التي يطرحها. وتفادياً لعقمه مع الزمن، لابد لهذا العلم من القيام باستمرار بتحدي الأنماط المتقادمة، والمصطلحات التقنية التي كثيراً ما تخفي فراغاً فكرياً.

ولا يمكن عرض علم زاخر بهذا الشكل في حوالى ١٢٨ صفحة أنظر المراجع [٧،٨،٩] إلا من خلال عملية تبسيط جذرية لمسائله، والاكتفاء بالوقوف عند بعض السمات الأساسية المتفق عليها والتي سنحرص قدر المستطاع على تقديمها بأسلوب حدسي.

* يستعمل مصطلح « الكيان اللين » لدي بعض دول المشرق العربي.

الفصل الأول

بعض المعطيات الاقتصادية

١. تكلفة البرمجيات

تقاس تكلفة البرمجيات عادةً بوحدة أفراد- شهور (فش) أو أفراد- أعوام (فع) التي ينبغي تمييزها عن مدة التطوير، فعمل ٣ مهندسين مدة ١٨ شهراً تساوي تكلفة قدرها ٥٤ فش أو٤,٥ فع.

أما حجم البرنامج الحاسوبي، فيقاس عادة بعدد أسطر شفرة البرنامج المصدر أو التعليمات (سطور المصدر (سم)) أو ألف* سطر من المصدر (كسم)، التي يتضمنها برنامج الحاسوب الذي جرى تسليمه والجاهز للاستخدام. وعامل الحجم هذا، الذي يقيس الجزء القابل للتنفيذ في أي جهاز، هو الذي اعتُمد كمؤشر رئيسي لكم المعلومات التي تحملها البرمجية.

من هنا تقاس إنتاجية التطوير البرمجي بـ (سم) لكل (فش). ولعل هذا المؤشر هو أبلغ ما يدل على مدى صعوبة صنع البرمجيات أو سهولتها.

ويبين الجدول التالي بعض الإحصائيات ذات الدلالة. وقد تبدو هذه البيانات مبهمة إلى حد ما، إلا أنه بمقارنتها ببعض أمور الحياة اليومية، يمكن أن نلمس ما تنطوي عليه من تعقيد. فبرنامج حاسوبي بقياس ١٠٠ كسم على سبيل المثال يعادل بمرفقاته حوالي ١٠ كتب يتألف كل منها من ٤٠٠ صفحة.

نوع البرمجيات	التكلفة	الحجم	ملاحظات
مصرفات لغات برمجة: compilateurs			النطاق الزمني (المدة اللازمة لتطوير المنتج):
-باسكال، سي	١٠ فع	٢٠-٣٠ كسم	عام إلى عامين
-كوبول، فورتران	٨٠-١٠٠ فع	١٠٠-٢٠٠ كسم	٢-٣ أعوام
-أدا (Ada)	١٥٠-٢٠٠ فع	> ٣٠٠ كسم	٣< أعوام

* ألف = كيلو.

أنظمة إدارة قواعد البيانات العلائقية (أوراكل، دي بي ٢..)	٣٠٠–٥٠٠ فع	٣٠٠–٦٠٠ كسم	نطاق زمني من ٣ إلى ٥ أعوام بما في ذلك نسخة تجريبية مبدئية
أنظمة لحظية (زمن حقيقي) كبيرة:			
–مركبة فضائية	١٠٠٠< فع	٢٢٠٠ كسم	نطاق زمني ٦ سنوات، معد بلغة هال
–سيفغارد[1] SAFEGUARD	٥٠٠٠ فع	٢٢٦٠ كسم	نطاق زمني ٧ سنوات معد بلغة من نوع بي ١١
– سابر [2] SABRE	٩٥٥ فع	٩٦٠ كسم	نطاق زمني ١٠ أعوام ومدة وسطية قبل حدوث عطل قدرها ٥٥ ساعة[3]
أنظمة تشغيل مصنعة إم في إس MVS، في إم إس VMS، جي سي أو إس7 GCOS7	٢٥٠٠–٥٠٠٠ فع	٥٠٠٠–١٠،٠٠٠ كسم (معد بلغة برمجية متقدمة غالباً منذ السبعينات)	مدة حياة البرنامج من ١٥إلى ٢٠ سنة، بما في ذلك ما لا يقل عن ٥ سنوات أمد النسخة المبدئية
أنظمة صناعية: جي بي إيه أوGPAO، إم أر بيMRP، سي أي إم CIM، ...	٣٠٠–٥٠٠ فع	٥٠٠–١٠٠٠ كسم– قواعد بيانات بالغة الأهمية	باستخدام لغة كوبول/ إل ٤جي
البيانية (غرافيك) (بعدان، ٣ ابعاد)	١٥٠–٣٠٠ فع	بلغة فورتران في الغالب ٢٠٠ > كسم	تنطوي على خوارزميات رقمية متقدمة

الذكاء الاصطناعي		بلغة سي في الغالب مع طرائق تفسير متقدمة	يتطلب استخدام هذه اللغات البرمجية في بيئة صناعية تطويراً أمثلاً شاملاً
ليسب LISP، بروليوغ PROLOG	١٠ – ٢٠ فع		
-الأنظمة الخبيرة	٢٠ – ٣٠فع		
أدوات هندسة البرمجيات بمعونة الحاسوب	١٠٠ إلى ٢٠٠ فع	مفصلة استناداً إلى قاموس	تتضمن طيفاً من الأدوات التي تشمل مراحل دورة التطوير

ويُبرِزُ عِظَمُ هذه الأرقام، وهي لاتتضمن تكلفة الصيانة المتكررة، دَوْرَ هندسة البرمجيات وضرورتها، فمن شأن أي تحسين لعملية صناعة البرمجيات أن يسفر عن مكاسب ملموسة في الإنتاجية. إلا أنه عند إضافة عامل عمر المنتج في البرمجيات، تظهر عقبتان جديدتان:

- التغييرات التي لا مفر من إجرائها على هذه البرمجيات والمتعلقة بعمرها.
- التحديات التنظيمية الخاصة بتنقل طاقم العاملين بين الشركات وحتى ضمن نفس الشركة،

هذا وتزداد قيمة التكاليف ذات الصلة كلما طالت الحياة المتوقعة للبرنامج (التكاليف المتكررة). كما تتأثر هذه التكاليف بمستوى بنيان البرنامج الحاسوبي المبدئي، لذا فمن الأهمية بمكان النظر إلى هذه التكاليف من منظور شامل:

تطوير +صيانة +تشغيل وحتى العزوف عن استخدامه.

٢. هيكلة التكاليف

تجدر الإشارة إلى التغيير الكبير الذي طرأ على هيكل التكاليف الحاسوبية، إذ كانت تكاليف العناصر المادية أي المعدات تمثل القسط

١- نظام دفاعي مضاد للصواريخ البالستية في الولايات المتحدة في حقبة السبعينات
٢- نظام حجز خاص بشركة أميركان إيرلاينز من إنتاج شركة اي بي إم
٣- وحدة قياس الأداء الجيد

الأعظم في السابق، إلا أن الأمر تغير على مرحلتين:

- سمحت سياسة «التفكيك» التي فرضتها شركة أي بي إم بتحليل تكلفة البرمجيات على هذا النحو أي جزءً جزءً.
- سلط ظهور الحوسبة الدقيقة أو الصغرية* في حقبة الثمانينات الضوء على انخفاض التكلفة للعناصر المادية بشكل غير مسبوق منذ ولادة المجتمعات الصناعية.

وقد أتاح تدني أسعار الأجهزة الحاسوبية على هذا النحو اقتحام المعلوماتية لجميع أصعدة الحياة الاقتصادية. ونتيجة لهذا التطور السريع- حوالي ١٠ أعوام- بات أسلوب صنع البرمجيات في طليعة الأولويات.

٣. تطور الطلب

تنامى الطلب على جميع أنواع البرمجيات بشكل ملحوظ في حقبة الثمانينات، وهي ظاهرة ارتبطت بعدة عوامل إيجابية هي:

- طلب هائل على التطبيقات الجديدة.
- تفاعل متنام ما بين المستخدم والأنظمة المعلوماتية.
- رقمنة كل ما كان تناظرياً analogae في السابق مثل الكتب والموسيقى والصور والأفلام والإشارات الصوتية واللاسلكية.
- زيادة الخدمات المعلوماتية أو الحاسوبية المطلوبة حجماً وعدداً، وبخاصة في مجال إدارة الأنظمة المعقدة.
- ظهور مجالات جديدة ذات أهمية، مثل ألعاب الفيديو والرسومات الحاسوبية.

الأمر يرقى إذن لكونه ظاهرة شاملة تسفر عن طلب هائل على التقنيات والوسائل التي تسمح بالإنتاج بسرعة متزايدة، مع تعزيز مستوى الجودة.

* micro informatique

وتزامناً مع هذه الظاهرة، أصبحت البرمجيات عنصراً أساسياً في الأنظمة ذات الوظائف الحرجة، حتى باتت سلامة ووثوقيه أداء البرمجيات تشكل التحدي الأكبر الذي يواجه هندسة البرمجيات. فلنقف عند بعض نماذج المخاطر الممكنة:

- المخاطر البشرية: أوامر قيادة الطائرات المدنية، والسيطرة على حركة المرور الجوية، والقطارات بالغة السرعة، إلخ.
- المخاطر الاقتصادية: حوسبة مداولات أسواق الأسهم، المقاسم المركزية الهاتفية المحوسبة، الصرافة الالكترونية، إلخ.
- المخاطر الاجتماعية: الأنظمة التي لا تلبي احتياجات المستخدمين والتي تولد ردود فعل سلبية، وسرية المعلومات التي يحفظها النظام، وأوجه الجنوح الجديدة من قبل المستخدمين غير الأمناء (برامج الفيروس وشفرات حصان طروادة والقنابل الذكية) الساعين لاستغلال النظام لخدمة مآربهم.

وتجدر الإشارة هنا إلى ما تمثله سلامة البرمجيات من تحد هائل. فخلافاً للمجالات الهندسية الأخرى، لا تنم الأخطاء أو مواطن الضعف هنا عن عيب في المواد المستعملة أو ظاهرة استهلاكية معروفة القواعد، وإنما تنبع من أخطاء بشرية متأصلة في عملية البرمجة ذاتها.

لذا فإن من أبرز غايات هندسة البرمجيات تصميم عمليات تصنيع تكفل سلامة هذه البرمجيات من جميع هذه لأخطاء- أو على الأقل- إن لم يكن هذا ممكناً كما هو الحال في معظم الأحيان، التأكد من إمكانية معالجة تداعيات الأخطاء المتبقية -والتي نجهل عددها- من خلال عمليات مخصصة لهذا الغرض، ضمن إطار زمني يتفق ومهمة النظام. وفيما يتعلق بالأنظمة اللحظية (الزمن الحقيقي)، فقد يكون هذا الإطار الزمني قصيراً جداً (بضعة أجزاء من الألف من الثانية).

ومما يزيد هذه الغاية تعقيداً، اقتران ظاهرتين حديثتين:

- زيادة قدرة المعدات أو الأجهزة الحاسوبية بشكل هائل يسفر سلباً

عن زيادة تواتر هذه الأخطاء.

- التعميم التدريجي للحوسبة الموزعة على شبكات حاسوبية، تسمح بجمع عدة تطبيقات بمنتهى السهولة، بمساعدة نماذج برمجية، على غرار التعاملات الموزعة أو مخدم- زبوْن*. من شأن مثل هذا "الاقتران" الذي يعزز حالات إصابة أو خلل الأنظمة، تعقيد مهمة تشخيص نوع العطل، بل وجعلها مستحيلة أحياناً في غياب المرشحات البرمجية.

نتيجة لجميع هذه التطورات، بات القسط الأعظم من تكاليف البرمجيات يُنفق في عمليات التأكد والتحقق من سلامتها.

* نظام شبكة حاسوبية يقوم على مبدأ وجود حاسب مخدم Serveur، وحواسيب زبائن موصلة عليه Clients.

الفصل الثاني

تصنيف البرمجيات

١. أوجه الصعوبات

كنا، ولزمن طويل، نميز بين ما يسمى بالمعلوماتية الإدارية، والتي يفترض كونها بسيطة، والمعوماتية العلمية أو التقانية ، التي يفترض كونها أكثر تعقيداً. إلا أن هذه المقارنة لم تعد تصلح اليوم في ظل انتشار الشبكات والأنظمة الموزعة. وقد حاولنا في السابق أيضاً تصنيف البرمجيات وفق مجالات التطبيق الكبيرة التي يفترض أن تعكس درجات متفاوتة من التعقيد.

المجال	هيكل البيانات	الخوارزميات	التحكم
الإدارة	معقد	بسيط	بسيط*
التحليل الرقمي، المحاكاة	بسيط	معقد	بسيط
الاتصالات	بسيط	بسيط	بالغ التعقيد
الزمن الحقيقي (الأنظمة اللحظية)	بسيط	معقد	معقد
معالجة وتحليل البيانات	بالغ التعقيد	معقد	بسيط
أنظمة التشغيل، المصرفات	معقد	معقد	معقد

* باستثناء نموذج المخدم- الزبون

وبعيداً عن قيمة هذا التصنيف الوصفية، فهو لا يخدم المصمم لأنه لا يسهل عمله ولا عملية اتخاذ القرار. إذ ينبغي أن يعكس التصنيف الفعال ما يكشف عن تحدٍ حقيقي نستطيع الإعداد له فيما يتعلق بـ :

الأفراد المناسبين والتنظيم الجيد؛

الأساليب المناسبة؛

الأدوات المناسبة؛

لقد اتضحت أهمية وجود القيود التي تفرضها البيئة أو عدم وجودها (المراجع ١،٢،١٧) في عملية تصنيف البرمجيات. إذ يمكن تحديد ثلاثة مكونات رئيسية مميزة لثلاثة أنواع من البرامج نجدها في جميع المجالات التي أشرنا إليها آنفاً:

- البرامج الحاسوبية ذات المواصفات المحددة والثابتة، والتي نشير إليها بالبرامج التي من نوع ث، أو ث___ برمج*.
- البرامج الحاسوبية التي تعالج عدداً يحتمل أن يكون لا متناهياً من المسائل المتماثلة، والتي تتضمن معايير يمكن أن تتغير وفق احتياجات المستخدم، فهي برامج من نوع م أو م___برمج؛
- البرامج التي تتفاعل مع البيئة (الأفراد، أجهزة الاستقبال، الأنظمة الأخرى، إلخ...) والتي ربما تكون تفاعلات عشوائية، وذات مدد زمنية مختلفة، ويحتمل أن تشوبها الأخطاء، وهي البرامج من نوع ب أو ب___ برمج.

فلنعرض مثالاً على كل نوع من هذه البرامج:

١. **ث- برمج-** فلنفترض أننا نريد تصميم برنامج يقوم بحساب قيمة الجذر التربيعي للعدد ما A. هناك العديد من الطرق المدونة للقيام بهذه العملية الحسابية، مثل طريقة نيوتن:

$$\sqrt{A} = \lim_{n \to \infty} x_{n+1} = \frac{1}{2}\left(x_n + \frac{A}{x_n}\right) \text{ avec } x_0 = \frac{A}{2}$$

* الأنواع الثلاثة هي: P-prog، S-prog، وE-prog

تعد هذه المعادلة على أنها مواصفة البرنامج، وهي صحيحة في جميع الحالات المحتملة ولا تتعلق ببيئة استخدام البرنامج. وتقتصر البرمجة المنفذة لهذه المعادلة على مجرد ترجمة بسيطة لها تراعي حدود الجهاز (دقة الأرقام، معيار تقارب هذه السلسلة، إلخ...). وثمة الكثير من البرامج التي تندرج ضمن هذا النوع، كما تتوافر خوارزميات كثيرة ومتباينة لحل طيف واسع من مثل هذه المسائل (المرجع٣). ويكفي للتحقق من صحة هذا البرنامج التأكد من قيامنا بترجمة المعادلة على نحو سليم (فقط لا غير)، وربما إثبات ذلك، دون أية آثار جانبية.

٢. **م-برمج-** فلنفترض الآن أننا بصدد تصميم برنامج يقوم بترجمة نص مكتوب بلغة البرمجة أدا (Ada) إلى نص مقابل في لغة الآلة (يسمى مثل هذا الجهاز بالمُصَرِّف أو المترجم البرمجي). ينبغي أن يتمكن المصرف من معالجة عدد لا متناه من النصوص، علماً بأن قواعد الكتابة محدودة، لأنها قواعد عودية. بل إن على المصرف ترجمة جميع النصوص الواردة إليه بنفس السرعة على الأقل. هناك عدة أنماط لاستخدام المصرف:

في مرحلة تنقيح البرنامج، يفضل المستخدم: سرعة ترجمة قصوى، وتشخيصاً وافراً ودقيقاً للأخطاء، وآليات استئناف العمل رغم الأخطاء بحيث لا يضطر الجهاز للقيام بالترجمة من جديد بعد اكتشاف خطأ وبالتالي القيام بالترجمة عدة مرات تساوي عددَ الأخطاء الواردة، كما يفضل قيام المصرف بوضع خريطة البرنامج في الذاكرة، إلخ...؛

وفي المرحلة النهائية، ولإنتاج البرنامج وتجهيزه للعمل، نُزيل خيارات التصحيح ونعيد إجراء عملية الترجمة بخيارات تحسين شاملة، بحيث يتصف البرنامج قدر الإمكان بالفعالية الاقتصادية بالنظر إلى موارد الجهاز الحرجة (استخدام وحدة المعالجة المركزية، حجم الذاكرة، مرات نداء مكتبات النظام، إلخ...).

على هذا النوع من البرامج إذن القيام بخيارات متناقضة، وسيكون على مصمم المُصرِّف البحث عن حل وسط وفق خصائص النص المطروح للترجمة (طوله، مستوى مراكبة البنى وتعقيدها إلخ...) ونمط الاستخدام. وهنا تكون عملية تنسيق واختيار الخوارزميات (هندسة المُصَرّف) للقيام بالترجمة على نحو فعال، أكثر تعقيداً من تلك في النموذج السابق (ب-برمج)، وتتطلب تفعيل استراتيجيات اختيار الأمثل. كما أن عدد الحالات المحتملة للمصرف هي أضعاف ما هي عليه في النموذج السابق، وبالتالي فإن عمليات التحقق والمصادقة أكثر طولاً. أضف إلى كل ما سبق ذكره إمكانية تغير معايير اختيار الأمثل وفق مواصفات المعدات.

وتعد هذه الحالة نموذجية بالنسبة لبرامج من نوع م___برمج: إذ نجدها كلما حاولنا اختيار الحلول المثلى التي تقتصد في الموارد اللازمة والتي يحددُها حجم وهيكل البيانات المدخلة.

٣. ب- برمج أما للبرامج التي تنتمي إلى هذه الفئة، والتي تتفاعل وتستجيب لمحفزات واردة من البيئة التي يعمل فيها البرنامج. فينبغي البدء بوصف بيئة أو محيط البرنامج، بحيث نرسم خطاً فاصلاً بين كل ما ينتمي لهذه البيئة، وما لا ينتمي إليها. وتحديد هذا الفاصل أمر بالغ الدقة والحساسية عندما تتضمن مثل هذه البيئة مشغلين آدميين أو معدات معقدة.

توصيف متطلبات هذه الأنظمة ووظائفها لا يمكن اعتباره نهائياً إذ يتطور باستمرار، ونتيجة لذلك تكون مفردات الترجمة التقنية لهذه المتطلبات والمواصفات الوظيفية ذات طابع يتطور باستمرار.

وفي سبيل الوصول إلى مرحلة التنفيذ، لا بد من اعتماد توصيف محدد، ولكن ينبغي على الأرجح إعادة النظر فيه في وقت لاحق.

وينبغي أن تُوفِّق البرمجيات المطورة لمثل هذه الأنظمة ما بين:

- استقرار النموذج وبين قدرته على التعديل والتطوير بنفس وتيرة تطور البيئة التي يعمل بها؛

- الزمن اللازم لإعادة إنتاج النسخ المتتالية وبين تواتر طلبات التغيير. إن برنامجاً حاسوبياً للتحكم بالمرور الجوي، أو نظام حجز المقاعد (الطائرات، القطارات، إلخ...)، أو برنامجاً حاسوبياً للتحكم في مقسم هاتفي مركزي، أو واجهة (أفراد-أجهزة) لمقصورة طيار، أو غرفة قيادة وتحكم... جميعها نماذج لبرامج يعد عامل البيئة فيها عاملاً سائداً.

لذا فإن التحقق من سلامة مثل هذه الأنظمة والمصادقة على حسن عملها أمر بالغ الصعوبة والتكلفة، إذ أن هذا التحقق وهذه المصادقة هي في الواقع بروتوكولات حقيقية.

وسنجد على الصعيد العملي أنظمة يكون العنصر البرمجي فيها نسيجاً مختلطاً من البرامج من صنف ث، وم وب.

أما الوزن النسبي، من حيث التكاليف، مقاسةً بعدد سطور شفرة ث، وم وب فتزداد حَسَب النسب ١، ٢، ٤ (كما أن حجم البرنامج قد يعزز هذه الفوارق).

٢. أنماط التوزيع

ثمة سمة قوية أخرى للبرمجيات تنبع عن نمط التوزيع الخاص بها. إذ يمكن تمييز:

- برمجيات التسليم الجاهز أو الجاهزة للاستخدام، أي المصممة لتلبية غرض محدد والتي لا تتوفر إلا بأعداد محدودة جداً؛
- حزم البرمجيات التي تلبي أغراضاً عامة، والتي توجد آلاف، بل ملايين النسخ منها في تطبيقات المعلوماتية الدقيقة أو الصغرية.

في الحالة الأولى، تنطوي تكلفة برنامج الحاسوب على تكلفة التطوير والصيانة بشكل أساسي، الناجمة عن الخصائص الفنية المحددة الخاصة ببرنامج الحاسوب، وعن إنتاجية فريق العمل الذي يقوم بتطويره. ويعد

هـذا النوع من التطوير نموذجاً للمشـاريع التي يكـون فيها الابتكار التقني ذا أهميـة (البحث عن ميزة تنافسـية) والمخاطرة عالية (مواعيد التنفيذ والأداء وسلامة التشغيل).

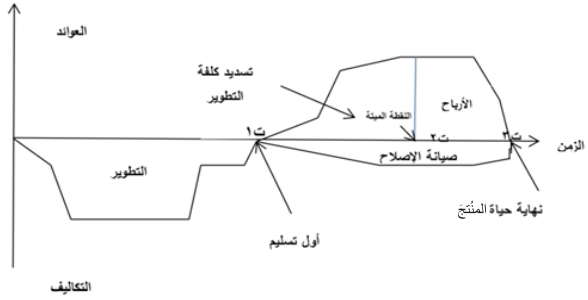
أمـا في الحالـة الثانيـة، فيكون إجمـالي تكلفة برنامج الحاسـوب هو مجموع عاملي تكلفة ثانويين:

- تكلفة التطوير-الصـيانة، كما الحال بالنسـبة لبرمجيات التسـليم الجاهز؛
- تكلفـة التوزيـع التـي تعتمد أساسـاً علـى تركيبة بيئـة الأنظمة التي تجـري متاجرة حزمة البرمجيات فيهـا، وعلى إجراءات الأمان التي تتضـمنها حزمة البرمجيات. وهـذه التكلفة هي دالـة أو تابع يزداد طرداً مع تعقيد بيئة تقنية المعلومات المقامة.

ويتـم تمييز فرصـة المتاجرة من قبل عدد كبير من المتنافسـين الذين سـيحاولون الاسـتئثار بحصـص من السـوق، خاصـة عندما تلبي حزمة البرمجيات هذه حاجة عامة، الأمر الذي يسفر عن نتيجتين:

- وجود سـعر السوق- فكلما كبر حجم السوق، كلما انخفضت الأسعار وإن لم تتغـير تكاليـف التطويـر. كمـا أن المسـتخدمين سـيميلون إلـى اسـتخدام معدات أخـرى في حـال تم توحيد الواجهات بشـكل معياري(مثل يونيكس، ويندوز إلخ...)
- ضـرورة وجـود عمر محـدد لحزمة البرمجيـات. ففي حـال لم يُعِدّ المحرر نفسه لإصدار نسخة ثانية وثالثة و.. إلخ من حزمة البرمجيات تتضمن وظائف جديدة لتلبية المتطلبات المستجدة بعد ظهور النسخة الأخيرة، سـيكون المنافسـون الآخـرون قد خططوا لذلـك بدلاً منه، وتغـدو نسـخته متأخرة عفى عنها الزمن (في الرسـم التالي، ت٣ لا يتوقف على المورد وإنما على المنافسين).

ويأخـذ المنحنـي النموذجـي الخاص بالتكاليف/العوائـد لحزمـة برمجيات الشكل التالي:



يتيح لنا هذا المنحني فهم آثار ظاهرتين متكررتين في علم المعلوماتية:

- تأخر التسليم

-الافتقاد إلى الوثوقية

ففي حال تأخر التسليم، تتحرك النقطتان ت١ وت٢ نحو ت٣ الثابتة. فيقل الربح، ولا تكون ربحية تطوير المنتج عندئذ مضمونة.

وفي حال تم الالتزام بموعد التسليم، وهو ما يكون عادة على حساب مستوى الجودة، تزداد صيانة الإصلاح وتستحوذ على فريق التطوير الذي لا يعود قادراً على إعداد النسخة التالية من المنتج، فيكتسب المنتج سمعة تجارية سيئة، فتتهاوى حصة الشركة المنتجة من السوق، ما قد يكون بمثابة ضربة قاضية على مطور البرمجيات.

لا بد إذن بالنسبة لحزمة البرمجيات من الحرص على التحكم بتاريخ التسليم وكذلك وعلى الأخص جودة البرنامج، فالسوق دائماً ذات ردود فعل قاسية.

أما بالنسبة للبرمجيات من نوع التسليم الجاهز أو المفتاح باليد المطورة خصيصاً لخدمة أغراض المؤسسة المحددة، فإن التحكم بالتكاليف ضرورة قصوى، وإن أفضى ذلك إلى تأخير مواعيد التسليم. فهذا النوع من المشاريع يقتضي وجود علاقات متميزة ما بين الطرف المتعاقد والمقاول الرئيس.

الفصل الثالث

القضية الأساسية في هندسة البرمجيات

١. هدف هندسة البرمجيات

تنطوي هندسة البرمجيات على إجمالي الوسائل التقنية والصناعية والبشرية التي ينبغي جمعها لتحديد وتشييد وتوزيع وصيانة برمجيات تتصف بما يلي:

- موثوقة، بمعنى أنها تستجيب بشكل محدد لجميع الطلبات، والتي ربما تشوبها الأخطاء، المتعلقة بوظيفتها؛
- سهلة الاستخدام، أي أنها معدة لإمكانيات المستخدم الواقعية لا المفترضة؛
- قابلة للتطور، أي متكيفة مع الحاجات المستجدة ضمن فترات معقولة؛
- اقتصادية، أي أنها تحقق المعادلة المثلى ما بين الخدمة التي يتم تقديمها (الوظائف المتوافرة، والعائد على الاستثمار، وعقد الخدمة، إلخ...) وتكاليف التطوير-الصيانة المعلنة في بادئ الأمر.

٢- طبيعة الأخطاء

بالنظر إلى عملية تطوير البرمجيات، نلاحظ ما يلي:

- وجود أخطاء عديدة بشكل دائم في البرمجيات، حتى بعد خضوعها لدورات مكثفة للتحقق من سلامة العمل والمصادقة عليه، قد تناهز تكلفتها ٥٠٪ من إجمالي التكلفة، وذلك حتى بعد شهور بل سنوات أحياناً من الاستخدام السليم؛
- الصعوبة البالغة التي ينطوي عليها تطوير البرمجيات، ذات حجم معين، خلال فترات زمنية تتناسب مع تكاليف تطويرها، لأن التغييرات المتلاحقة حينئذ تقوض البنية المنطقية (البنيان)

للتصميم الأصلي على نحو يضعف النظام ويضطر إلى إجراء أوجه تنقيح مكلفة خدَّجية (غير ناضجة).

وينبغي تحري مصدر هذه الصعوبات في:

- الطبيعية البشرية التي يتسم بها نشاط تطوير البرامج الحاسوبية؛
- طبيعة البرمجيات العميقة.

هذا ويقتضي نشاط تطوير البرمجيات عملية تعلم وتمهن في بعض أكثر العمليات صعوبة، منها على سبيل المثال:

- العملية المنطقية الرياضية، ذلك أن كل برنامج هو محصلة عمليات تفكير واستنتاج واستقراء خاصة بكيانات نظرية بحتة غير محددة بشكل كامل. ويبدو أن القدرة الإنسانية لا حدود لها في إبداع كيانات، بيد أنه لا بد لهذه الكيانات، كي نتمكن من التحكم بها على نحو متسق باستعمال أجهزة مجردة من القدرة على التفكير، أن تكون صحيحة المنطق. لا بد إذن من إرساء قواعد مترفِّعة من شأنها تأطير القدرة الخيالية لدى المبرمجين؛
- بناء الأفكار التجريدية والقدرة على التعميم، ما يعد ضرورة لاستنتاج الكيانات المنطقية المنبثقة من العالم الحقيقي الذي سنقوم بتمثيله والتحكم به بواسطة البرامج؛
- توصيف المعلومات ونمذجة حركة البيانات التي هي المكونات الرئيسية للنماذج القابلة لتمثيل العالم الحقيقي، بما في ذلك جوانبه الديناميكية؛
- القدرة على الترجمة من "النظام الرسمي" إلى آخر، إذ سيكون على المبرمج إجراء تغييرات عديدة لشفرة البرنامج وفق الخوارزميات المستخدمة؛
- البراعة في التواصل الإنساني، إذ أنه من الضرورة بمكان أن نفهم ونُفهم دون لبس؛ إذ سيتم تنفيذ البرنامج بمجرد وجوده في الحاسوب بشكل "غبي" ولن يكون بمقدور أي مشاهد أو مستخدم

أن يفهم المقصود من مخرجات البرنامج إن كان هناك لبس محتمل؛

- الإحاطة بجانب التعقيد المرتبط بطبيعة البرامج وهي طبيعية كثيرة الاحتمالات (أو التوافقية)، وكذلك إدارة الوقت البشري (أي الوقت اللازم لتفاعل المستخدم مع الحاسوب) الذي يختلف عن وقت الجهاز (وحدة مركزية، وأقراص، وشبكات، والمعدات الطرفية التي لكل منها ساعتها الخاصة بها).

تشكل جميع هذه الدروس جوهر المشكلة أو التحدي الذي يمثله تطوير برنامج ما، والذي يولد فعلياً الأخطاء: فالجميع يخطئ هنا بما في ذلك الأفضل.

ثمة خطأ بشري دائماً وراء كل إخفاق برمجي، كالسهو عن الأخذ بإحدى الحالات الخاصة، أو التحليل المغلوط لمعلومة ما، أو الاعتماد على نظرية لم تثبت صحتها، أو مواصفة تفتقد للترابط المنطقي، إلخ... ويُترجم الخطأ البشري إلى خلل في البرنامج ربما يبقى كامناً دون ظهور آثاره لفترة طويلة. وإذا ما اجتمعت عدة ظروف تنفيذية مع بعضها بعضاً وأنتجت الخلل الكامن فإن هذا الخلل ربما يسبب خطأ في تنفيذ الوحدة الوظيفية الخاصة بالبرنامج الذي انكشف فيه العيب (والذي ليس بالضرورة البرنامج المشوب بالخلل) وأخيراً، وحسب طبيعة الخلل، ربما يطرأ إخفاق أو عطل يسفر عن تعطل النظام تماماً. من هنا فإن تداعيات الخلل تكون:

- حرجة، إن عَطَّلَ المهمة التي يقوم بها النظام؛
- خطيرة، إن تسبب في إجابات خاطئة وحط من عقد الخدمة؛
- محدودة، إن تسبب في إزعاج المستخدم أو هدر الوقت؛
- مقبولة، إن استطعنا التغاضي عنها وإن كان الضيق منها ظاهراً.
- ثمة أمور هنا من الضروري الإحاطة بها:
- قد تطول المدة المنقضية ما بين إحداث خلل ما واكتشاف هذا الخلل (عدة أعوام)؛

- لا يسفر كل خلل بالضرورة عن إخفاق؛

- قد "يغيب" الخلل وسط حجم هائل من المعلومات السليمة بحيث يتعذر الكشف عنه؛

- حال حدوث عطل ما، ربما تكون قد مرت فترة زمنية ما من حدوث الخطأ وحتى تعطل النظام، الأمر الذي قد يعسر تمييز الوحدة البرمجية المشوبة بالخطأ نظراً (لوجود العديد من الأمور المسببة المكنة)، والأسوأ من ذلك احتمال تسبب العطل بإتلاف لبعض المعلومات التي سيتوجب العثور عليها ومن ثم إعادتها إلى حالة من الاتساق.

وتبعاً لهذه الظواهر المختلفة ينتج ما يلي:

- بعد تصحيح الأخطاء الأولية، سرعان ما يصبح الكشف عن الأخطاء المتبقية أمراً بالغ الصعوبة (إذ تكون العلاقة ما بين الإخفاق والخلل اقل فأقل وضوحاً)؛

- ربما تسفر معالجة الخلل عن تتالي مواطن التصحيح في وحدات أخرى تعتمد وظيفياً على الوحدة أو الوحدات التي يشوبها الخلل (يصبح أثر الخلل منتشراً وقادراً على التعاظم)، الأمر الذي يقتضي اختباراً جديداً للبرنامج بأسره.

٣- طبيعة البرمجيات

يهتم المهندس، في مجالات الهندسة التقليدية، بتشكيل وصقل مادة طبيعية أو ظواهر فيزيائية ما، ويكون محيطاً بالقوانين التي تحكمها، الأمر الذي لا يماثل في شيء تلك "المادة" الاصطناعية التي هي البرنامج.

فالبرنامج هو عبارة عن "فكرة قابلة للتطبيق بشكل مباشر". وهذا أمر جديد تماماً. وتنطوي البرمجة على ممارسة الهندسة بهذا المعنى: أي استخراج واستخلاص وتجريد كيانات ما من العالم الحقيقي سنتمكن من تمثيلها والتحكم بها باستخدام وسائل آلية، ينبغي أن يماثل سلوكها سلوك كيانات العالم الحقيقي التي يحل البرنامج محلها.

من هذا المنظور، يمكن القول إن عملية البرمجة هي صنع أو تشييد رمز سيجد مكانه إما بين الأفراد، أو بين الأفراد والأنظمة، أو بين الأنظمة بعضها بعضاً. فهو، أي الرمز، يساهم في عملية تبادل المعلومات بين جميع كيانات المجتمع (من أفراد، ومنظمات وأنظمة)، ويخضع لجميع قيودها، وبخاصة فيما يتعلق بالتطور. إذ ينبغي، بقدر مساهمته في حياة المجتمع، أن يتطور بذات وتيرته؛ فنحن إذن بصدد لغة.

لقد عَرَّفَنا علماء المنطق في حقبتي العشرينات والثلاثينات من القرن العشرين، واللغويون إلى حد أقل، بمختلف مكونات نظام الرموز:

- المكون النحوي (والذي يسمى أيضاً بتركيب الجملة المنطقي)، والذي يقوم بمهمة تزويدنا بمجموعة، ربما تكون لا متناهية، من الصيغ المنطقية التي لا لبس فيها، والتي ستتيح توليد بنى متشابهة بين مختلف الحالات من خلال استخلاص المعنى. هو "نظام شكلي" * بمصطلح المنطق الرياضي، يعد بمثابة دعامة المعنى، لكنه ليس المعنى في حد ذاته.
- المكون الدلالي الخاص بدلالة البرنامج الذي يهتم بالصلة التي تربط المكونات المجردة المركبة بواسطة المكون النحوي، ومكونات العالم الحقيقي. وينبغي أن تنأى هذه العلاقة عن أوجه اللبس (ما يعرف بالثبات أو الاتساق المنطقي) وأن تكون مكتملة (أي تطابق كل مكون مجرد مع مكون من العالم الحقيقي، وكذلك بالعكس).
- المكون العملي الواقعي الذي يهتم بشروط فعالية "الرمز" من منظور المستخدم. ويعد سياق الاستخدام، والبيئة، والسلوكيات المتعلقة به، والجانب الجمالي وبيئة العمل، من عناصر هذا المكون.

من جهة أخرى نجد أن النظرية الرياضية الخاصة بالتواصل تستخدم نفس هذه المفردات، لتأكيد اهتمامها الحصري بترميز المكون النحوي للرمز.

هذا وثمة علاقة وثيقة بين تصنيف البرامج ث وم وب وبين مفهوم هذه المكونات الثلاثة أي النحو والدلالة والواقعية. وإن الخلط ما بين هذه

* نظام شكلي: System Formel

المستويات الثلاثة مصدر لصعوبات بالغة التعقيد، لأن عمليات التصنيع الخاصة بكل من هذه المستويات مختلفة تماماً. تجدر الإشارة بشكل خاص إلى كون لغات البرمجة لا تعالج جيداً سوى المستوى النحوي، بيد أنه لا بد وأن تكون محايدة تماماً حيال المستوى الدلالى. ففي كل مرة حاولت فيها لغة برمجة فرض رؤيتها للعالم، كانت النهاية سيئة؛ ولعل نكسات لغة "أدا" الراهنة، وصعود نجم لغة سي، أبلغ شاهد على ذلك.

يمكن إذن اعتبار البرمجيات كنظام رموز ذا طبيعة لغوية أو لسانية. أما الدال، فنص البرنامج ذاته، وأما المدلول فهو الجزء الحقيقي الذي من المفترض أن يقوم البرنامج بنمذجته. فالبرنامج يحمل البنية، بيد أن المعنى أو القصد يبقى في العالم الحقيقي. فكما هو الشأن بالنسبة للغويات أو اللسانيات، فإن الحد الفاصل ما بين الدال والمدلول ليس واضحاً؛ في حين أن "الرمز" يتسم أيضاً بذلك الطابع الاعطباطي الذي لفت الانتباه إليه عالم اللسانيات، سوسور، فبمجرد ابتكاره، يخرج الرمز عن زمام سيطرة مبدعه. وتتوقف سمة البرنامج العملية أو الواقعية بشكل كبير على الخصائص النفسية الإدراكية التي يتصف بها المستخدم، وعلى ثقافته المعلوماتية، ومعرفته بنطاق عمل الرمز، وبعلاقة الرمز برموز أخرى (المطور، والصائن، والدامج، ومسؤول الجودة الذين سيكون لكل منهم رأي مختلف، وفق وجهات نظر كل منهم).

وتكمن صعوبة البرمجيات الحقيقية في الجانبين المتعلقين بالدلالة والعملية، فهما المجالان اللذان ينبغي تخصيص الأهمية القصوى لهما. وينبغي أن تمكن الأساليب والأدوات المقترحة من قبل هندسة البرمجيات، مثل لغة النمذجة الموحدة (ULM)، النفاذ إلى هذه المكونات الأساسية، وألا يُكتفى بالتحكم بالبنية النحوية، ذات النطاق المحدود رغم أهميتها.

وقد تم تحليل جميع هذه التحديات على نحو مفصل في مؤلفنا قدرة وحدود الأنظمة المحوسبة (Puissance et limites des systèmes informatisés) (المرجع ١٨).

الفصل الرابع

نموذج التطوير ودورة الحياة

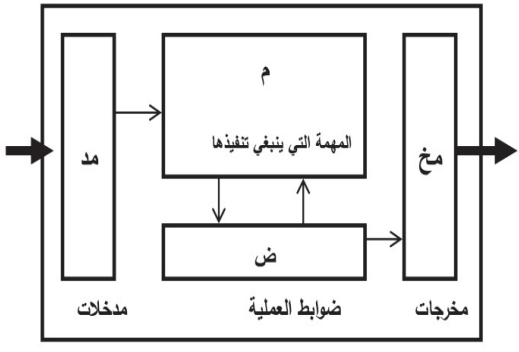
١. مفهوم عملية الجودة

بدت صناعة البرامج منذ حقبة سبعينات القرن العشرين كعملية متدرجة على مراحل (أول مقال لافت بهذا الشأن كان مقال دبليو. دبليو. رويس عام ١٩٧٠ بعنوان: "إدارة تطوير أنظمة برمجية ضخمة"، جمعية مهندسي الكهرباء والإلكترونيات (IEEE) وسكون، أغسطس ١٩٧٠).

وقد جرى العمل على توصيف ما يلي:

- كل من المراحل المتتالية لعملية "التصنيع"، منذ طلب الطرف المتعاقد للبرنامج وحتى لحظة الاستخدام.
- منطق تتابع مختلف المراحل.

بدأ في حقبة الثمانينات من القرن الماضي الاهتمام الجدي بالظروف التي ينبغي توفيرها لتعزيز السيطرة على جودة البرمجيات المصنعة، ولتسليم منتج متطابق مع المنتج المطلوب في الأساس. وفي سبيل ذلك، تم تفكيك عملية التطوير الإجمالية إلى عمليات أساسية وفق الرسم التالي:



هذا وتفكك العملية الأساسية إلى أربعة أنشطة تمثل نموذج (مد م ض مخ):

- تنطوي عملية "مد" على جمع المعايير التي ينبغي اجتماعها للبدء بالمهمة (مدخلات)؛
- "م" هي المهمة التي ينبغي تنفيذها، فهي الغاية من عملية التطوير التي ستوكل إلى شخص أو فريق عمل أو عدة فرق عمل؛
- "ض" تمثل الجزء الخاص بالتحكم بالعملية (ضوابط)، الذي يمكننا من خلاله التأكد من سير المهمة وفق قواعد الجودة السارية في المشروع كله، والخصة بمهمة ما؛
- أما "مخ" فتجمع المعايير التي ينبغي تحقيقها لاعتبار المهمة منتهية (مخرجات).

تربط الأنشطة المتعلقة بكل من "مد"، "ض" و"مخ" المهمة بمحيطها بشكل دقيق ومعتمد، بحيث تمكن معالجة أي حدث قد يؤثر على سير العمليات، وذلك بشكل واضح.

ومن المثير للاهتمام هنا مطابقة النسبة المنجزة من المهمة، والتي تقدر بواسطة معايير محددة للعملية "مخ"، ونسبة الموارد "مد" المستهلكة والمقاسة بوحدة "أفراد-شهور". وتظهر هذه العلاقة التوافقية عادة على شكل منحنيات S يوافق نموذجها الرياضي المعادلة التفاضلية التالية:

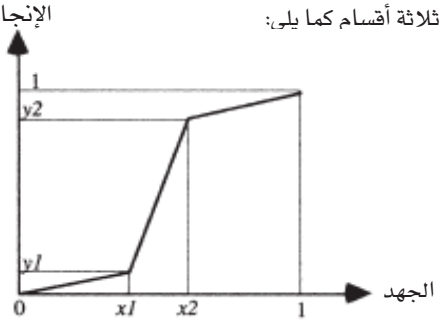
$$\frac{\Delta \text{م}}{\Delta \text{مد}} = \text{م} \left(\ni - \lambda \text{م} \right)$$

وبموجب هذه المعادلة فإن الزيادة النسبية Δم في إنجاز المهمة م بالنسبة إلى زيادة Δمد في الموارد، تتناسب مع ما تم إنجازه ($\ni$ هو طرف رياضي من شأنه تسريع العملية بشكل أسي)، وما تبقى عمله (وهو طرف رياضي في المعادلة يبطئ العملية على نحو يتناسب مع ما تم إنجازه، ومن هنا كان الطرف التصحيحي λم). والحل التحليلي لهذه المعادلة هو

منحى سيغموئيد (Sigmoide)، تركيبها الجبري كالتالي:

$$Y = \frac{be^{ax}}{1+ce^{ax}}$$

وباستخدام إحداثيات قياسية، وتبعاً للمنحني محل الاهتمام، نقوم بتمثيلها بواسطة ثلاثة أقسام كما يلي:



حيث:

$1 > x_2 > x_1 > 0$

$1 > y_2 > y_1 > 0$

والفترة:

$[0 : x1]$ -> سرعة بدء التشغيل

$[x1 : x2]$ -> سرعة التقدم

$[x2 : 1]$ -> سرعة الإنجاز

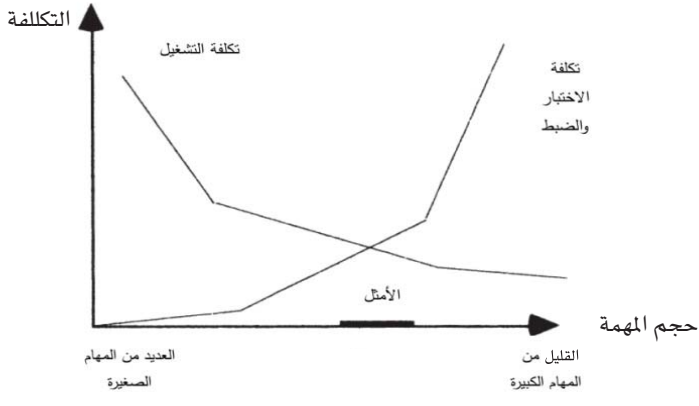
وعادة ما تعتمد إما هذه الصيغة أو الأخرى، بما يلائم العملية الحسابية.

يعكس هذا المنحني، وهو بالغ الأهمية لجميع الأعمال الهندسية، الطابع غير الخطي الخاص بعملية التطوير، وبخاصة المرحلة النهائية من المهمة، والتي قد تمثل فيها ال١٠٪ المتبقية ٣٠ إلى ٤٠٪ من الجهد

الذي لايزال ينبغي بذله. ومن هنا تُرتكب أخطاء التخطيط الجسيمة حين يقتصر تفكيرنا على التفكير بأسلوب خطي.

تنطـوي دورة التطوير المكتملـة على مجموعة من العمليات البسـيطة المقابلة للمهام المتنوعة اللازمة لإنتاج البرنامج. ويتوقف تسلسل العمليات على مدى تحقيق معياري مد المدخلات ومخ المخرجات.

جديـر بالذكر أنه في عالم كامل لا يرتكـب فيه الأفراد أي خطأ، تكون قيمة التكلفة الخاصة بالضوابط العملية ض تعادل الصفر، وتلك الخاصة بالمعياريـن مـد (مدخلات) و مـخ (مخرجـات) متدنية جداً. يبـدو إذن عنصـر ض فائضاً حقاً (في سـياق نظرية المعلومات): فهو يعكس مواطن قصـورنا الفردية والجماعية. وترتفع هذه التكلفـة مع ارتفاع حجم المهمة المنفذة والحاجة لطلب المزيد من الضـوابط. وإذا كان تفاعل البرنامج مع البيئة محدود النطاق، كانت الموارد المخصصـة للضوابط محدودة، إلا أن عدد المهام سيكون أكبر بكثير، الأمر الذي سيتطلب مواردا بدوره (إذ نقوم بتضـمين الضـوابط داخل البرنامج دون تدخل من البيئة). ثمة إذن حالة موازنة بين الأمرين للوصول للأمثل كما هو موضح في الشكل:



من الواضح أن الأمثل يكون متغيراً، بيد أنه يتوقف على:

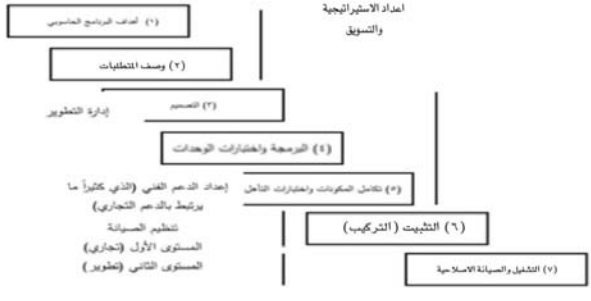
- كفاءة وخبرة الأفراد وفرق العمل؛
- الإدارة التي تقوم بتكوين فرق العمل.

في نمط العمل التسلسلي أي مخرجات عمل الفريق الأول تصب كمدخلات لعمل الفريق التالي، وفي حال اعتبرنا وجود عمليتين ع١ وع٢، فإن إضفاء الطابع الرسمي على شرط الخروج من العملية ع١ وشرط الدخول إلى العملية ع٢ يقتضي صياغة عقد واضح بين مسؤولي المهام م١ وم٢. ومثل هذا الإجراء هو بمثابة شرط ضروري للوصول إلى الحالة الاقتصادية المثلى للتكاليف.

وفي حال لم يتحل المسؤول عن المهمة م١ بالدقة، تسببت العملية ع١ بتكاليف إضافية في العملية ع٢، فما يكلف س للعملية ع١ من شأنه أن يكلف العملية ع٢ ك.س (حيث ك > ١)، وهي العملية التي لا بد وأن تكون أقل قدرة من ع١ على تصحيح الأخطاء التي لا تعزى إليها.

٢- دورة الحياة الاسمية ومختلف مراحلها

تتطابق المصطلحات المعتمدة هنا فيما يخص نموذج دورة حياة المنتج البرمجي مع تلك الخاصة بنموذج المعيار المذكور في المرجع [٤]. أي يتكون هذا النموذج من ٧ مراحل أو أوجه نشاط رئيسية سنقوم بتفصيل كل منها بإيجاز.



١- المرحلة الأولى: أهداف البرنامج الحاسوبي: تقدم هذه المرحلة الأولى من تطوير أي مشروع برنامج حاسوبي وصفاً وتحليلاً شاملاً للمتطلبات التي ينبغي أن يلبيها البرنامج الحاسوبي. وهي إلى حد ما بمثابة حدود المخطط الذي نفكر فيه في سياق ما يلي:

- السياق الاقتصادي (تحليل قيمة الخدمة المقدمة، وتقدير الموارد التي يمكن حشدها كماً ونوعاً للمشروع، والمواعيد النهائية المرغوبة، والعوائد المتوقعة على الاستثمار) وسياق الاستراتيجية الفنية (جدوى المشروع بصفة عامة، وخطة الجودة، والاستحواذ، واختيار مواد وتقنيات التطوير: لغات البرمجة، ونظام إدارة قواعد البيانات، والشبكات، وأدوات هندسة البرمجيات بمساعدة الحاسوب)؛

- سياق المخاطر، لاسيما في حال المشاريع الضخمة والبرمجيات التي تعد موثوقية عملها شرطاً أساسياً؛

- السياق التنافسي والميزات التنافسية، وبخاصة لدى تطوير طيف من الحزم البرمجية (ما يعرف بميزة المهاجم أو المبتكر)؛

- سياق التنظيم الشامل للمشروع، لاسيما علاقات السلطة المتعاقدة مع الشركة المطورة بالنسبة للمشاريع الكبيرة، ومشاريع الدولة ومشاريع تجميع أو إقامة ائتلافات تجارية، إلخ...

٢- المرحلة الثانية: وصف المتطلبات: هذه هي المرحلة التي نقوم فيها بوصف الوظائف التي ينبغي للبرنامج الحاسوبي أن يقوم بها، وشروط التشغيل، وعقد الخدمة ومستوى الجودة المطلوب، دون الاكتراث (قدر المستطاع) بطريقة تنفيذ هذه الوظائف فعلياً. إذ أننا نعتبر البرنامج الحاسوبي بمثابة صندوق أسود لا نعرف سوى مدخلاته ومخرجاته، ونود

رغم ذلك أن نرى منه صفات محددة من أوجه الأداء (استهلاك الموارد، وسرعة الاستجابة، وتدفق المعلومات)، وموثوقية التشغيل (جاهزية النظام وأمنه).

كثيراً ما تُجرى هذه المرحلة، والتي تعد بالغة الأهمية بالنسبة للبرمجيات التي تكون فيها البيئة عاملاً غالباً (ب___برمج) بالتزامن مع المرحلة الأولى، لأن هاتين المرحلتين تخصان في المقام الأول الطرف المتعاقد. هذا ويحدد توصيف المتطلبات الإطار التشغيلي العام الذي يتطور فيه البرنامج الحاسوبي ونسخه المتتالية. ويتم التحكيم والتسوية حال نشوب الخلافات، التي غالباً ما تحدث لدى تجاوز مشروع ما حجماً معيناً، استناداً إلى التحليلات التي تتم في مرحلة وصف المتطلبات.

٣- المرحلة الثالثة: التصميم: تهدف هذه المرحلة إلى تعريف وظائف وبنى البرمجيات على نحو بالغ الدقة، انطلاقاً من المتطلبات المحددة والقيود العامة المعينة خلال المرحلتين الأولى والثانية.

تسفر هذه المرحلة عن تحديد الاختيارات الفنية، وتعريف الوظائف (على نحو غير رسمي بلغة طبيعية وبالاستعانة بالرسوم الرمزية) ومن ثم على نحو رسمي بشكل أكبر باستخدام لغات البرمجة المخصصة مثل لغة تصميم البرنامج (بي دي إل)، وتتَضَّح مجموعات الوحدات البرمجية، ويتم تحديد الخوارزميات التي ينبغي تنفيذها وتوصيفها بشكل كمي (معدل وقت الاستجابة، والموارد المستهلكة إلخ...)، فضلاً عن فهرسة البيانات الأساسية (التي تشترك فيها عدة وحدات أو تتبادلها مثل الرسائل) في قاموس، وتعيين بنية التحكم التي تُوَصِّف تسلسل الوظائف، والأحداث التي تُطلق تسلسل العمليات بشكل كامل. كما تتم هنا فهرسة كل ما يتسم بالأهمية بعناية في مجموع مصطلحات برنامج الحاسوب (وهو ما يسمى بعناصر تكوين البرنامج الحاسوبي).

٤- المرحلة الرابعة: البرمجة واختبارات الوحدات: تنطوي هذه المرحلة على البرمجة الفعلية للوظائف استناداً إلى المعلومات الدقيقة الناجمة عن مرحلة التصميم. إذ تُترجم الوظائف إلى لغة أو لغات البرمجة التي تم اعتمادها، مع مراعاة معايير البرمجة المحددة في خطة ضمان الجودة. وفي هذه المرحلة من التطوير، تتحول النظريات والحسابات الفكرية والوصف الورقي إلى عناصر قابلة للتنفيذ ومن ثم يمكن التأكد منها عن طريق التجربة. ننتقل إذن من النظرية إلى تطبيق هذه النظرية وعندها تنكشف مواطن ضعفها. لا بد إذن، عند اكتشاف حالات إخفاق تعود إلى التصميم، من تحديث الوثائق الخاصة بالتصميم والبرامج ذات الأخطاء في آن واحد، تجنباً لمعضلات خطيرة في مرحلة التكامل ولدى ارتقاء البرنامج الحاسوبي لاحقاً.

وبنهاية مرحلة البرمجة، فإن كتل البرنامج الحاسوبي، أو "وحدات الترجمة"، والتي تجمع عدة وظائف، ينبغي أن تترجم إلى لغة الآلة دون أخطاء وأن تنفذ بالإجراءات الاختبارية التي تضمن سلامة منطق البرنامج (أي الحصول على نتائج سليمة ضمن المهل الزمنية المحددة وباستهلاك الموارد المتاحة).

٥- المرحلة الخامسة: تكامل المكونات واختبارات التأهل: يتم في هذه المرحلة تجميع جميع كتل البرنامج أو مكوناته تدريجياً بشكل يضمن التحقق من سلامة عمل البرنامج الحاسوبي والمصادقة عليه حتى يمكن تشغيله في بيئته الحقيقية.

عند نهاية مرحلة دمج وتكامل المكونات، نستطيع لدى تشغيل البرنامج واتباع الإجراءات الملائمة، التأكد من أنه يفي بجميع الأهداف الوظيفية المحددة في المرحلة الثانية.

٦- المرحلة السادسة: التثبيت أو التركيب: هي المرحلة الخاصة بتشغيل البرنامج الحاسوبي في بيئة العميل. تنطوي إذن هذه المرحلة على التأكد من سير عملية التثبيت وفق متطلبات فريق التشغيل لدى العميل، ومن وجود وسائل التدريب، ومن دخول الدعم الفني للمورِّد قيد العمل.

٧- المرحلة السابعة: التشغيل والصيانة: هي المرحلة الخاصة بوضع البرنامج الحاسوبي قيد استخدام جميع المستخدمين المتوقعين بادئ الأمر، وذلك دون قيود. وتهدف هذه المرحلة، التي قد تطول كثيراً لدى بعض أنظمة برمجيات التسليم الجاهز أو المفتاح باليد (إدارة الإنتاج، مراقبة الطيران، الاتصالات الهاتفية، إلخ...)، إلى ضمان عمل البرنامج الحاسوبي الذي تم تثبيته على النحو السليم؛ من هنا لا بد من تصحيح أوجه الخلل والأخطاء التي تظهر في مرحلة التشغيل ضمن المواعيد الزمنية المحددة في عقد الصيانة المبرم بين المشغل ومحرر البرنامج.

٣ - دورة الحياة على شكل V للنظم البرمجية التي من حجم معين

المبرمج هو ذلك «المتفاعل» الذي يحول المعلومات إلى برامج قابلة للتنفيذ على الحاسوب. وهذا نقيض ما يمكن ملاحظته في قطاعات هندسية أخرى يسهل فيها استبدال الإنسان بإنسان آلي. وباستطاعة مبرمج موهوب انتاج برنامج ينطوي على ٢٠٠٠٠ من التعليمات التي تم اختبارها وتوثيقها خلال عام واحد (ما يعادل اصدار كتابين كل منهما ٤٠٠ صفحة بمعايير النشر)، بيد أن الوسطي الشائع للمبرمج العادي هو حوالي ٥٠٠٠ من التعليمات.

ولتعزيز هذا المعدل وتقليص الوقت المستهلك، يجري العمل في فرق مكونة من عدة أفراد يتقاسمون المهام وفق مهاراتهم وخبراتهم الخاصة، علماً بأن رئيس فريق ما يكون عادة الفرد صاحب الخبرة الأوفر. وتتوقف فعالية أداء الفريق في المقام الأول على قدرته على التواصل، وعلى مدى استعداد عناصر هذا الفريق للتعاون. ففي حال كان ثمة عدد ع من الأفراد، فإن عدد النقاشات التي ينبغي إجراؤها للتوصل لاتفاق (وهو شرط أساسي لتحقيق التنسيق في العمل) يعادل $\frac{ع(ع-1)}{2}$ الأمر الذي يحد بالضرورة من عدد أعضاء فريق العمل. وعلى الصعيد العملي، نلاحظ اعتماد معدل ٥ إلى ٧ أشخاص في فريق العمل، بما في ذلك رئيس الفريق. أما إذا زاد العدد عن ذلك، فلا بد من قدرة على التواصل وسلطة استثنائية لضمان تناسق فريق العمل.

وعندما يتجاوز حجم المشروع حداً ما، ينبغي تجزئة مشروع البرنامج الحاسوبي إلى نظم فرعية يتناسب حجم تطويرها مع مدى ما يستطيع الفرد أو الفريق أو عدة فرق، توليه ومعالجته.

عملية تجزئة مشكلة «كبيرة» إلى عدة مشكلات فرعية أصغر حجماً هي إحدى نتائج مرحلة التصميم البالغة الأهمية، وهي المرحلة التي بدورها تُجزَّأ إلى عدة مراحل فرعية وفق مستويات التجريد التي من

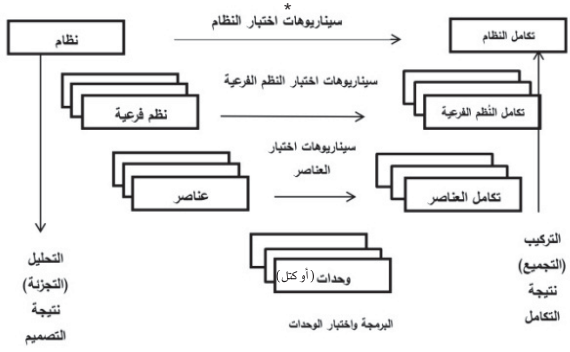
شـأنها فصـل وترتيـب علاقـات الاعتماد بين المشـكلات الفرعية حسـب الأولوية. وهذه عملية تتطلب خبرة مديدة.

على وجه الخصوص، ينبغي النظر إلى:

- تصـميم النظام على نحـو يراعي أوجه تبعية البرنامج الحاسـوبي لمحيطـه والتـي لا مفر منهـا. كما يجري تقسـيم النظـام البرمجي إلـى عـدة أنظمة فرعيـة ينبغـي أن تتمتع بأقصـى قـدر ممكن من الاستقلالية؛
- تصميم النظم الفرعية مع تجزئة النظام الفرعي الواحد إلى عناصر أصغر حجماً حينما يفوق حجم النظام الفرعي قدرة فريق عمل ما؛
- تصميم العناصر أو التصميم التفصيلي الذي ينطوي على تحديد عمل فريـق البرمجـة. تتم هنا تجزئة العنصـر إلى وحـدات أو كتل يكلف بها المبرمج.

يقـوم مبدأ التجزئـة على أسـاس مجموعات الوظائف التي تشـترك في خاصـية أو أكثر، مـا يجعل تجميعها أمراً مثـيراً للاهتمام (جمع بعض وظائف الخدمة المتماثلة مع بعضها)، أو التي تضمن تكامل الخدمة.

تسفر هذه العملية عن تجزئة المشكلة إلى وحدات أوكتل قابلة للبرمجة، ينبغـي بعد ذلـك تجميعها وفـق ترتيب معين لتشـييد النظام الحاسـوبي فعليـاً. ولا يكون هذا ممكنـاً إلا بمراعاة بعض قواعد اللعبة الخاصـة بكل نظام فرعي وبالنظام ككل. وتشـكل هـذه القواعد، التي تحدد بروتوكولات تواصـل العناصر فيما بينها، الواجهات البينية أو الواجهات. يقابل هرمية مسـتويات التجريد إذن هرمية من الواجهات التي ينبغي أن تكون شـديدة الترابط المنطقي فيما بينها، كما هو شأن مختلف المسلمات المؤلِّفة لنظرية رياضـية ما. فهذا هو شـرط إتمام عملية التجميع أو التركيب، التي تسمح بإجـراء التكامل، وعمليـات الفحص والتحقـق الموافقة. ويرمـز إلى هذه العملية بمجملها بـ"دورة الحياة على شكل V" (أنظر الشكل التالي).



٤. عمليات التطوير غير المكتملة:

«الماكيت» والنماذج البدئية

كما هي الحال في مجالات أخرى من الهندسة، لا يكون أحياناً ثمة خيار سوى إجراء أو تنفيذ بعض الوظائف للتمكن من تحديدها على النحو الصحيح؛ وهذا أكثر ما يكون صحيحاً بالنسبة للبرامج التي من النوع ب.

١. **الماكيت (نماذج المحاكاة)-** لا شك في أن صنع نماذج المحاكاة أو الماكيت مفيد في تسهيل التعبير عن المتطلبات، وتحديد مواصفات النظام البرمجي التي سيحتك وإياها المستخدم بشكل مباشر: وهو ما نسميه بواجهة المستخدم (أو الواجهة بين الإنسان والآلة). وقد بات هذا النوع من الواجهات البينية ذا أهمية مع انتشار الشاشات المرئية عالية الوضوح.

٢. **النماذج التجريبية:** يخدم النموذج التجريبي أغراضاً متفاوتة، إذ أننا نسعى من خلاله لبناء نظام غير مكتمل، إلا أنه حقيقي من حيث الأبعاد بحيث نتمكن من إجراء اختبارات بمقاييس حقيقية. ويمكن هنا اتباع أحد نهجين:

* يمكن استعمال مصطلح (مشاهد) بدل (سناريوهات):

أ- نستطيع أن نحدد مجموعة فرعية صغرى من وظائف النظام غير المكتملة، بحيث نقوم بإجراء أول زيادة على البرنامج الحاسوبي. ويجب أن ينطوي هذا النموذج التجريبي على أقصى حد من التعليمات الخاصة بقياسات البرمجيات في النظام، وذلك بهدف تقويم أداء هذا النظام البرمجي.

ب- بإمكاننا تغيير لغة البرمجة الخاصة ببعض مكونات النظام، أو تبني وسائل برمجية خاصة (على سبيل المثال «التفسير*» أي استعمال لغة قابلة للتنفيذ من خلال الآلة مباشرة بدلاً من استعمال الترجمة إلى لغة الآلة)، أو استبدال بعض العناصر ببرامج جزئية لا تستطيع الاستجابة سوى لحوافز محددة، علماً بأن الهدف هنا أيضاً هو تشييد نظم فرعية تمثل النظام بشكل أسرع، وإن كان ذلك مقابل التضحية إلى حد ما ببعض جوانب الأداء.

هـذا النوع من التطوير هو واسـع الانتشـار، إن لم يكن أساسـياً لدى تطوير النظم البرمجية الضـخمة التي يتم صنعها دائماً بأسلوب الزيادات المتتالية على البرنامج.

٥. الصيانة والارتقاء

تبدأ الصـيانة ببـدء المرحلة السـابعة، لـدى القيام بتشـغيل النظام البرمجـي. وتختلـف الصـيانة جذريـاً وفـق مـا إذا كان نظامـاً «جاهزاً للاسـتخدام الخاص» أو «حزمـة من البرمجيات» التي يتـم توزيع ملايين النسـخ منها. وتنطوي الصيانة على طيف واسـع من الأنشطة التي تتراوح بين تصـحيح الأخطاء المعروفة، وهو ما نسـميه صـيانة الإصـلاح، وحتى إضـافة التعديـلات المتفاوتة الحجم بنـاء على طلب المسـتخدمين. ويكون

* التفسير : interpreter وهي الكتابة بلغة تنفّذ مباشرة (دون المرور بمرحلة الترجمة إلى لغة الآلة أي دون complete.

الحديث حينئذ عن ارتقاء النظام البرمجي؛ علماً بأن الصيانة الارتقائية شديدة الشبه بعملية التطوير.

١ - الصيانة الإصلاحية:

أ) الأنظمة الجاهزة للاستخدام (برمجيات التسليم الجاهز أو المفتاح باليد): تنطوي هذه الصيانة على إصلاح جميع الأخطاء التي يتم الكشف عنها طيلة مدة استخدام النظام، وقد تكون هذه المدة طويلة جداً تصل إلى ١٠أعوام بل حتى ٢٠ عاماً بالنسبة لبعض النُظم البرمجية بالغة الاندماج في معدات ضخمة: كأجهزة التحكم بالطيران، والأجهزة النووية، وأجهزة التحكم بإشارات السكك الحديدة، ونظم الأسلحة وإلخ...

تختلف هنا عملية الصيانة كلياً عن عملية التطوير، ولكنها ترث عن عملية تطوير ما يلي:

- يكون فيها إطار بنيان النظام محدداً بشكل تام؛

- تكون أدوات ووسائل التطوير موضوعة ومستخدمة بشكل مكثف، فهي معروفة تماماً إذن.

وهي عملية لا تنطوي على الإبداع مثل عملية تطوير البرامج، بيد أنها تتطلب قدراً بالغاً من التنظيم والانضباط لا سيما وأن حجم المعلومات التي يقوم مسؤول الصيانة بمعالجتها كبير.

ولا يكون المسؤولون عن الصيانة عادة هم مؤلفو البرامج المسؤولين عن تغييره. وفضلاً عن فهم البرامج المراد صيانتها، سيكون على مسؤول الصيانة استخدام وثائق النظام البرمجي والسجلات التاريخية والاختبارات التي أجريت. فجودة توثيق النظام البرمجي، واتساقه مع هذا النظام، يعد عاملاً حيوياً لفعالية أداء العاملين في الصيانة. إذ يقوم مسؤول الصيانة بالتعامل مع عمل عدة مبرمجين، لذا يفضل أن يكون أسلوب التوثيق والبرمجة متجانساً قدر المستطاع، الأمر الذي يتطلب اتخاذ معايير صارمة فيما يتعلق بالتوثيق والبرمجة. ذلك أن الإفراط في التساهل في مراحل التصميم والبرمجة سيسفر لا محالة عن تكاليف

باهظة في الصيانة ربما تقوض كلياً ربحية المشروع.

الانتقال إذن من التطوير إلى الصيانة مرحلة بالغة الدقة، وبخاصة أن الأمر يتعلق في كثير من الأحيان بعدة منظمات، بل عدة شركات مختلفة، ربما لا تتعاون مع بعضها البعض على النحو السليم. وعندما يكون ثمة قدر مفرط من الأخطاء، يقول فريق الصيانة إن فريق التطوير لم يؤد عمله كما يجب، بينما يجد بعض المبرمجين أن من "الطبيعي" أن تُترك مهمة الصقل النهائي لفريق الصيانة: لا مفر حينئذ من الخلاف.

ب) حزَم البرمجيات: تنطوي صيانة حزمة البرمجيات على جميع عناصر النظم البرمجية الجاهزة للاستخدام المذكورة اعلاه مع وجود تحد إضافي، هو الأخذ بالاعتبار مجموعة الأنظمة التي ستثبت فيها حزمة البرمجيات أو ما يسمى «بمنصة العمل*»، وهو ما يُسمى تأثير المنصة.

إن خطأ واحداً في حزمة البرمجيات من شأنه عادة أن يولد أخطاء ومواطن خلل ربما تظهر بشكل مختلف حسب سياق استخدام النظام البرمجي. ويُترجم هذا على الصعيد العملي، إلى تدفق تقارير الأخطاء، التي يرسلها مسؤول الاستخدام الموجود في موقع العميل إلى خدمة الصيانة لدى محرر حزمة البرمجيات. وتتوقف كثافة تدفق هذه التقارير (عدد تقارير الأخطاء للوحدة الزمنية الذي يجب معايرته وفق وتيرة استخدام جهاز الحاسوب وحجمه) على عاملين أساسيين:

- عدد الأخطاء المتبقية في حزمة البرمجيات بعد مرحلة تجميع (تكامل) العناصر والاختبار (المرحلة الخامسة). ولا يكون هذا الرقم معروفاً إلا أنه يمكن تقديره [٥]؛
- عدد الأنظمة التي تشكل "المنصة" الخاصة بحزمة البرمجيات، إذ تتعدد أوجه استخدام الحزمة البرمجية (استخدام مستمر، متقطّع، استثنائي...) تبعاً لاستعمالها في أجهزة متفاوتة القدرة.

* (منصة العمل) هو مصطلح parc بالفرنسية و Platform بالإنجليزي.

ويتم التعبير عن معدل أو وتيرة الاستخدام بعدد ساعات الاستخدام معايراً بقدرة المعدات.

ولاستيعاب تأثير «المنصة»، ينبغي النظر إلى حالتي حدوث الأخطاء:

- الحالة العابرة التي تحدث عند عملية التثبيت الأولى أو عند استبدال نسخة من حزمة البرمجيات بنسخة لاحقة. وهذه الحالة هي المرحلة السادسة من دورة الحياة والتي تتصف بمواطن اضطراب مرتبطة باتساع المنصة على نحو سريع؛
- الحالة المستقرة التي تميز المرحلة السابعة، والتي توافق إدارة منصة مستقرة أو بطيئة النمو.

فلنقم أولاً بوصف الحالة المستقرة.

في تاريخ ت تتميز المنصة بعدد من الأنظمة ن١، ن٢، ن٣، ....، نِ، ..... ن ض، ومجموعة من الحالات الفنية لحزمة البرمجيات ح١، ح٢، ...، ح ر، ...، ح ط. وتكون هذه المصفوفة بالغة التعقيد بالنسبة لحزم البرمجيات واسعة الانتشار وهي عادة (قاعدة بيانات).

يتم الإعلان عن خطأ ما في النظام نِ الذي يقوم بإرسال تقرير أخطاء؛ ويكون نِ في حالة ح ر. يُرسل تقرير الأخطاء للشخص المناسب (ليس الأمر سهلاً بالضرورة!) الذي يباشر بعملية الإصلاح. ربما تحدث عند ذلك إحدى الحالتين التاليتين:

- يكون الخطأ معروفاً من قبل، ويكون الإصلاح قد نُفذ في نُظم أخرى، فيتم إجراء الإصلاح المطلوب مباشرة في نِ (فترة ٤٨ ساعة على الأغلب).
- يكون الخطأ مستجداً، وينبغي إيجاد أسلوب لإصلاح نِ. ولدى ايجاد وسيلة التصحيح يجري تنفيذها على النظام نِ (فترة ٧٢ ساعة على الأقل)، ثم بعد فترة متابعة يجرى الإصلاح على نظم أخرى ذات تركيب مشابه يجعلها قابلة لاحتواء نفس الخطأ، ومن ثم أخيراً على

مجمل المنصة (قد يمتد انتشار الخطأ على مدار عدة أسابيع).

بذلك تكون الحالة الفنية للنظام قد انتقلت من ط إلى ط+١.

يتضح إذن أنه في اللحظة ت، تجتمع عدة حالات فنية في المنصة، وتكون بنية هذه المجموعة هي محل اهتمام إدارة التركيب. ويتوقف تنوع هذه المجموعة على عدد الأخطاء المتبقية، وعلى سياسة توزيع الإصلاح حيث تدخل عوامل تجارية (طبيعة عقود الصيانة، وحجم الخلل، إلخ...).

عند اللحظة ت، يكون لدينا إذن ع$_{ح١}$ نظاماً في الحالة ح١، وع$_{ح٢}$ في الحالة ح٢ ،...، ونظاماً في حالة ح$_{ط+١}$. ويكون ن$_{ز}$ قد انتقل من حالة ح١ إلى الحالة ح$_{ط+١}$.

تتم كل عملية تثبيت جديدة وفق الحالة الفنية التي تُعد الأنسب، أو الأقل خطراً في سياق استخدام حزمة البرمجيات، وهي ليست الأحدث بالضرورة.

ربما يحملنا الحكم السريع على الاعتقاد بأن الوضع الأفضل يكون ذلك الذي لا توجد فيه سوى حالة فنية واحدة في المنصة. بيد أن الأمر ليس كذلك على الصعيد العملي، فالأمر الذي يرجح قرار إضافة إصلاح هو دالة التكلفة المرتبطة بحالة المنصة. ويمكن رسم هذه الدالة على النحو التالي:

- يميل عدد الحالات الفنية إلى الزيادة مع تقدم عمر المنصة.
- تميل تكلفة إدارة المنصة إلى التنامي، لأن ثمة عدد متزايد من العناصر التي ينبغي إدارتها وطيف متنوع متزايد من الحالات (علماً بأن أسوأ الحالات هي التي يكون فيها لكل نظام حالة فنية خاصة به).

إن أردنا خفض عدد الحالات الفنية، يجب توزيع أوجه الإصلاح بشكل منهجي على كل المنصة، وهو أمر مكلف، وينطوي على مخاطرة (فقد تختل بعض المواقع وتكشف عن مواطن خلل أخرى)، بل إنه قد يكون غير ذي

فائـدة لأن الأخطـاء التي تظهر في آن واحد في جميع المواقع نادرة جداً (وفي هذه الحالة تنم عن إخفاق المرحلة الخامسـة من دورة الحياة الإسـمية V، وهـذه في حد ذاتها مشـكلة أخـرى). وحين تكون المنصـة كبيرة، قد تكون تكلفـة تحديثهـا باهظة جـداً، وبكل الأحـوال، لا يمكن معالجـة كل مواقع المنصة في آن واحد.

من هنا فإن ما بين الوضـع المثالي لعـالم كامل لا خطأ فيه، وبين حالة الفوضى القصوى، ثمة حال اقتصادي أمثل يتحقق بعدد معين من الحالات الفنية التي ستتيح معالجة مواطن الخلل الجديدة، التي يتم الكشف عنها، من خلال تطبيق إما حالة فنية معروفة أو جديدة، بشكل فوري أو على عدد من المواقع أو المقرات المتشابهة.

ويقوم فريق الصـيانة بـإدارة الحالة المسـتقرة دون اللجوء إلى فريق التطوير سوى في حالات استثنائية.

تتميـز الحالـة العابـرة بمواطـن عـدم اليقـين إزاء سـلوك حزمـة البرمجيات ومحيطها لذلك:

- ينبغـي تثبيت حزمة البرمجيات تدريجياً، وهو ما يسـمى بالتسـليم المضـبوط المراقب، بحيث يتـم التأكد من سـلوك حزمة البرمجيات لدى الاستخدام الحقيقي، وذلك بهدف التمكن من الاستجابة بشكل فوري حال ظهور مشاكل، إما مع فريق الصيانة و/أو الدعم الفني، أو مع فريق التطوير مباشـرة إن لم يكن فريق الصيانة قد دخل مرحلة التشغيل؛
- ينبغي إدخال فريق الصيانة إلى الحيز التشغيلي تدريجياً حتى يتأقلم مـع المنظومة، علماً بأن منحنى التعلم هو منحنى أسـي تقليدي (على شكل S).
- ينبغي أيضاً إدخال فريق تشغيل النظام إلى الحيز التشغيلي تدريجياً حتى يتعلم اسـتخدامه، ما يعني بالنسبة لمصـمم البرمجيات المزيد من تقارير الأخطاء.

يؤول التسليم المتسرع الذي يتم في غير أوانه إلى إنهاك فريق التطوير لا محالة، وزعزعة مسؤوليات فريق الصيانة/الدعم الفني، فضلاً عن رسم صورة تجارية سيئة ربما تقوض بكل بساطة عملية البيع (وهي الحالة التي يستغلها المنافسون طبعاً في السوق التي تحتدم فيها المنافسة). المرحلة السادسة إذن مرحلة تنطوي على مخاطرة عالية تتطلب إعداداً دقيقاً في نهاية المرحلة الخامسة. وثمة اتفاقيات بين كبار ناشري حزم البرمجيات وأكثر عملائهم ولاءً لتجربة النسخ المستحدثة من منتجاتهم تجريباً أولياً بشكل آمن قبل الدخول في المرحلة السادسة.

٢- ارتقاء البرمجيات:

تصاحب عملية تشغيل حزمة البرمجيات عادة طلبات إجراء تعديلات من قبل مستخدمي هذه الحزمة. وينبغي النظر إلى هذه الطلبات على أنها علامة إيجابية تدل على مدى تفاعلية المنصة. ويمكن تصنيف هذه الطلبات في مجموعتين:

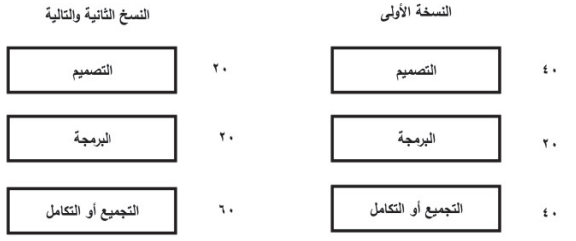
- تلك التي ينبغي اعتبارها أخطاء ومن ثم التعامل معها على هذا الأساس (تعديل في العوامل الإنسانية في بيئة العمل أو في تعامل الانسان مع الآلة، في سهولة الاستخدام، في أوجه الأداء، إلخ...). يكون الحديث حينئذ عن الصيانة التكيفية؛
- تلك التي ينبغي اعتبارها إضافات لتلبية متطلبات جديدة، يكون في مصلحة ناشر الحزم البرمجية أي الشركة المطورة للبرمجيات إضافتها لأية نسخة لاحقة من منتجه.
- يكون حديثنا في الحالة الثانية عن الارتقاء، لأننا نقوم فعلياً بتعزيز المنتج بالنسبة لبيئته من خلال تلبية متطلبات المستخدم على نحو أفضل. عملية الارتقاء هذه هي جانب أخر من التطوير والذي يتسم بكل مما يلي:
- صيانة حصينة لأن ثمة إرث ينبغي إدارته، وينبغي أن تتم إضافة

الوظائف الجديدة دون تكلفة إضافية على الأنظمة المثبتة.

- عملية تطوير خالصة بكل خصائصها لأن حجم الإضافات ربما يكون كبيراً (مثل تكييف حزمة البرمجيات مثلاً لبيئة مادية جديدة).

على الصعيد العملي، تتناوب -عقب مرحلة التصميم المبدئية- دورات تهيمن عليها بشكل متناوب الصيانة (الإصلاح والتكييف) وعمليات الارتقاء. وفي حالة حزمة البرمجيات، يتم تخصيص فترة توقف في عملية التطوير، لضمان ربحية المنتج على الأقل واختبار ردود فعل المنصة قبل الانطلاق في دورة أخرى من الارتقاء (مع فريق تطوير جديد).

يشكل مجموع تكاليف مختلف هذه النسخ إضافة إلى تكاليف صيانة الإصلاح، الخاصة بحزمة البرمجيات، تكلفتها الكاملة. وإذا ما أخذنا بعين الاعتبار تكاليف التطوير والصيانة الارتقائية فقط، يمكن التوصل إلى نسب التكلفة وفق المراحل حسب النسب المئوية التالية:



نلاحظ أنه إذا طال عمر حزمة البرمجيات وارتفع عدد نسخها المتتالية، وجب الحرص بشكل خاص على مرحلة التجميع والتكامل، أي كل ما يتعلق بتخطيط وتنفيذ الاختبارات وهو ضرورة أيضاً لصيانة إصلاح جيدة.

بهذا كله تكون عملية الصيانة عملية بالغة التعقيد من حيث التنظيم والتخطيط والتنفيذ. ومن أهداف هندسة البرمجيات إيجاد سبل وأدوات لتعزيز إدارة هذه العملية المعقدة، وبخاصة الاختبارات.

٦. الهندسة العكسية للبرمجيات

يتنامى معدل تكلفة التعديلات التي تُجرى على حزمة البرمجيات طيلة فترة الصيانة بتقدم عمر حزمة البرمجيات تنامياً كبيراً نظراً للأسباب التالية:

- يتم استنفاذ (اشباع) البنية المعمارية والواجهات التي تدعم النظام البرمجي ولا يعود ممكناً القيام بأية إضافة لها دون التسبب في تراجع وظيفي مكلف في المنصة المثبتة.
- يتهاوى التوثيق الفني.
- تفقد الاختبارات فعاليتها.
- تكون فرق التطوير والصيانة قد تجددت وتغيرت عدة مرات، الأمر الذي يسفر عن تبدد المعرفة.
- يعود تدفق الأخطاء، بعد فترة تحسن مستمرة واستقرار، إلى التنامي، بل وإلى التأرجح، وهي ظاهرة أكثر إثارة للقلق، الأمر الذي يعني أن ثمة أخطاء جديدة يتم إضافتها، وأن هذه الأخطاء تنتقل حسب مستوى إشباع الواجهات.

عند الوصول لحالة من هذا النوع، ثمة سلوكان ممكنان:

- إعادة صنع كل شيء، وطي صفحة الماضي. وقد كان هذا هو السلوك السائد حتى حقبة الثمانينات.
- محاولة استعادة جزء مما سبق صنعه، بتحديثه، وهو الاتجاه الواضح في حقبة التسعينات.

وُتعرف عملية الاستعادة أو إعادة التدوير هذه بالهندسة العكسية لحزمة البرمجيات.

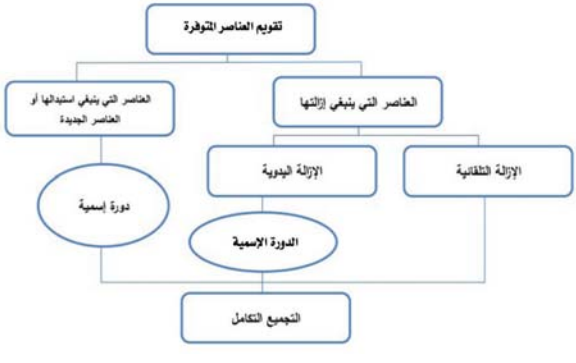
في حزمة البرمجيات الكبيرة، التي تنطوي على مزيج من برامج من نوع ث وم وب، تكون العديد من الوظائف قابلة للاستعادة. وبالنسبة للنظام البرمجي الجديد، يتحول كل ما كان من نوع م أو ب إلى ث، لأننا،

كمـا هو جلي، نتعامل مع برنامج معروف المواصـفات تمامـاً. وتكون تكلفة التطوير أقل.

جدير بالذكر أن العناصر التي تسهل استعادتها هي:

- التوثيق الخاص ببنيان النظام.
- شفرة المصدر.
- البيانـات في حالة النظام البرمجي الذي يسـتخدم ملفات أو قواعد بيانات
- الاختبارات.
- بعضـ الأدوات المطـورة خصيصـاً (مثـل محرر البيانات الخاصـة بقياسـ أداء بعض أجـزاء النظام، ومراقب الاختبـارات)، وإلى حد اقل، بعض الوظائف التحليلية أو الاسـتطلاعية السـابقة للتعبير عن المتطلبات.
- في حال انتهاج سياسـة إعادة الاسـتخدام، ينبغي أرشـفة جميع هذه المكونـات بحرص وعلى نحو يسـهل النفاذ إليها (هنا أيضـاً لا يكون الأمر سهلاً وواضحاً ويتطلب تخطيط وتنظيماً متقناً).

ثمـة تعديل عميق يصـيب دورة التطوير الإسـمية V لـدى تنفيذ هذه السياسة كما يبينه الشكل التالي:



إذ تصبح عملية التجميع هي العملية الرئيسية التي يدور كل النشاط من حولها.

٧.عملية تكامل أو تجميع الحزم البرمجية الكبيرة

تنطوي عملية التكامل على منطق تركيب تزايدي للنظام على مراحل متدرجة. عندما يتبين أن مكون ما عند بداية هذه العملية ذو مستوى معين من الوثوقية: ويمكن تقدير مستوى الموثوقية وفق حجم و/أو صعوبة الاختبارات التي أخضع لها هذا المكون. يتم من ثم جمع هذا المكون ومكونات أخرى، بحيث تتكون مجموعة فرعية ذات مستوى من الوثوقية يساوي أقل مكوناتها وثوقيةً؛ وعندها تخضع هذه المجموعة الفرعية للمزيد من سيناريوهات الاختبار، ونقوم بتصحيحها إلى أن نصل إلى مستوى الوثوقية المطلوب لهذه المجموعة الفرعية.

فلتكن على سبيل المثال مجموعة فرعية مكونة من عناصر أ، ب، ت، ث، ج، ح وخ، لكل منها مستوى وثوقية م$_{أ}$، م$_{ب}$،...م$_{خ}$. يتم جمع هذه العناصر من خلال:

- تسلسل التعليمات التي تنطوي عليها هذه العناصر؛
- البيانات التي تشترك فيها هذه العناصر.

يطلق إجراء اختبار ما سلسلة منظمة من المكونات، وليكن:

اختبار ---> أ ج ب خ ج خ ث ح ت.

مستوى الوثوقية الناجم لهذه السلسلة يكون على شكل:

م= م$^{ع}_{أ}$ × م$^{ع}_{ب}$ × ..... × م حيث يساوي طول السلسلة:

ع = ع$_{أ}$ + ع$_{ب}$ +..... +ع$_{خ}$.

في حال لم تكن قيمة ع كبيرة بشكل كاف، فإن مستوى وثوقية السلسلة: م= (م$_{س}$)^{ع} سيقترب لا محالة من قيمة الصفر، وفيما يلي بعض القيم الناجمة:

م$_{س}$= ٠,٩ ع=١٠ م= ٠,٣٥

م س= ٠,٩٩ ع= ١٠٠ م= ٠,٣٧

م س= ٠,٩٩٩ ع= ١٠٠٠ م= ٠,٣٧

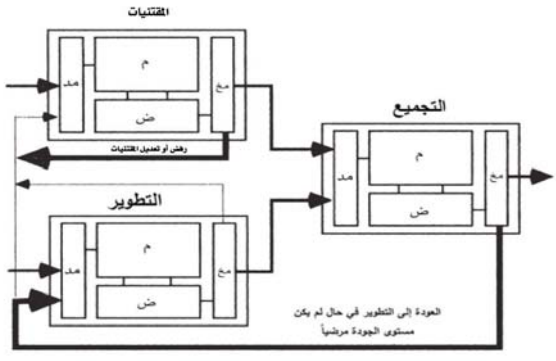
وهذا يفرض معضلة جدية إزاء طول السلسلة (حالة حزم البرمجيات التي لا تتوقف).

ينطوي إذن تجميع أو تحقيق تكامل نظام كبير، على عملية تجميع عناصر ما، بغرض الحصول بشكل منهجي، وتلقائي قدر المستطاع، على مجاميع المكونات التي تم التحقق من سلامة عملها والمصادقة عليها، متنامية وقريبة بشكل متزايد من النظام النهائي. ويتبع مجرى هذه العملية منحنى أسي تقليدي على شكل S.

يتضح هنا إذا أنه في حال كان بنيان النظام غير سليم (اتسمت على سبيل المثال المكونات بتبعية مترابطة على نحو مفرط)، وأغفلت عملية التخطيط قياس أثر المنحنيات الأسية، فإن تكلفة، بل ومدة مرحلة التجميع، ربما تعرض للخطر مشروعاً، ربما يُظهر على الورق، كل مظاهر المشروع الجيد.

مرحلة التجميع هي أيضاً الحيز الذي نقوم فيه بتجميع ما تم تطويره خصيصاً للمشروع، وما تم اقتناؤه (المواد + نظم التشغيل + الحزم البرمجية). وتشير التجارب إلى أن عمليات الاقتناء هذه لا تتفق دائماً مع "دفتر شروط" المطور/المحرر، الذي يميل بشكل طبيعي إلى الإفراط في الطلب، وبخاصة فيما يتعلق بالأداء وأمان الأداء. لذا فإن من الضرورة بمكان التأكد سابقاً من طلبات الاقتناء، قبل إدراجها في عملية التجميع، لأنها إن لم تكن مرضية فلا حل إلا تغيير المزود، وهي عملية بطيئة جداً. وينبغي النظر بمنتهى الدقة في ضم هذه العمليات المختلفة- تطوير، وتدبير وتجميع النظام- لأنها متباينة الوتيرة.

باستخدام نموذج مدخلات، مهام، ضوابط، مخرجات (مد م ض مخ) يمكن رسم مبدأ الضم كما يلي:



٨. أدوات هندسة البرمجيات و «ورشها»

١- أمور عامة:

إن الوظيفة أو العمل المطلوب يخلق الأداة اللازمة التي بدورها تؤثر على هذه الوظيفة. وهذا ما يُطلق عادة عملية توفيق دوارة تسفر، بعد التكرار عدة مرات، عن أفضل حالة من الناحية الاقتصادية تُوَفّقُ ما بين صعوبات التحدي الذي ينبغي معالجته، وكفاءة المتصرف، والاحتمالات التي تنطوي عليها التقنية. وهذه القاعدة العامة تنطبق بالطبع على عملية تصنيع النظام البرمجي.

إن الظروف التي تفرض وجود أداة هي:

- تكرار النشاط و/أو المهمة، لأن الآلة لا تتعب.
- سعة أو كبر حجم النشاط أو المهمة لأن الآلة أعظم قدرة من الإنسان على أداء مهام معينة.

الدقة العالية و/أو التحقق من سلامة العمل، فالآلة تعمل بولاء ودون ارتكاب أي خطأ وفق خطة معدة مسبقاً.

وعلى النقيض من ذلك، فإن عملاً إبداعياً متفرداً بطبيعته، يتطلب قدرة الإنسان على المعالجة الرمزية، وثقافته وتجاربه وتفكيره

السليم، هوغير قابل عموماً للتحويل إلى أداة، أو للأتمتة. أما نتيجة هذا العمل، فيمكن التعبير عنها بلغة ومجموعة من الرموز المخصصة (ad hoc). أن تمييز هذا الاختلاف بين العملين المذكورين، أي الذي يحتاج لأداة والذي لايحتاج بالغ الأهمية، إذ أنه لا بد من تمييز نظام الترميز، عن الشيء الذي يقوم بوصفه.

كما ينبغي إدراك حقيقة أنه لا يمكن قياس كفاءة الأداة سوى في سياق استخدامها، بمعنى أخر، لا يوجد ثمة كفاءة بالمعنى المجرد. وتوخياً للبساطة، يمكن تمثيل هذا السياق على ثلاثة محاور:

- محور الأداء الفردي الذي يقيس الكفاءة التقنية لثنائي الإنسان-الأداة في سياق العمل الذي ينبغي معالجته.
- محور الأداء الجماعي الذي يسمح بالحكم على الأداء من حيث مدى تعزيزها للتواصل. إذ أن من شأن أداة معقدة أن تجلب أنماط استخدام ربما تضر بشكل فادح بالتواصل، فكلٌ يميل للعمل ضمن مجموعة فرعية خاصة به، الأمر الذي يتنافى مع مبدأ الأداة ذاته. جدير بالذكر أن منحني الخبرة الجماعية أبطأ بكثير عموماً من منحنى الفرد الوحيد.
- محور الأداء ضمن المؤسسة الذي يسمح بتحديد دور الأداة و/أو الأسلوب في تحقيق أهداف الجودة العامة التي تسعى إليها المؤسسة، والتي قد تسفر عن تبني استراتيجيات استحواذ من شأنها تأمين المكانة المثلى للمؤسسة على الصعيد العالمي، على حساب هذا المشروع أو ذاك على الصعيد المحلي. ويبدو منحنى اكتساب التجربة الخاص بالمؤسسة إزاء استراتيجية الأداة أكثر بطأً، بيد أن العائد على الاستثمار أهم بكثير.

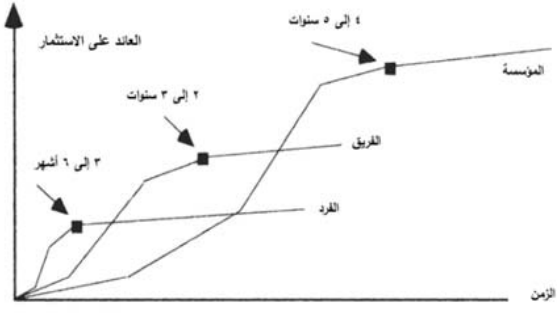
ويعد التقدم والنمو على هذه المحاور جوهر إشكالية نماذج نضج التطوير [٦].

هذا وقد يؤدي الاقتصار بالاهتمام بمحور واحد لا غير، وهو المحور

الفـردي عـادةً، إلى خيارات غـير موفقة، بل كارثية أحيانـاً، وذلك حينما يكـون محـور آخر هـو الذي يحقـق الانتاجية. وهـو أمر متكرر مـع أدوات التصميم المساعدة التي هي أدوات تواصل في المقام الأول.

ثمـة حقيقة لا بد من إدراكها، وإن صَـعُبَ الاعتراف بها أحياناً، وهي أن جميع هذه الظواهر تتبع قوى متحركة بطيئة، لا يملك المرء سوى تأثيراً محـدوداً عليهـا، إذ أن هنـاك مركز جاذبيـة كائن جماعي هـو ما ينبغي تحريكه(أي كامل فريق العمل) [٢،٢١].

ينبغي أن تسـاق السياسـات المتعلقة بهذا الشـأن بوعي عميق، وفطنة كبيرة وفي بعض الأحيان، بالكثير من الحزم.



٢- اختيار الأدوات:

آ- طبيعـة الأدوات- قـد تكـون الأداة أحادية النشـاط (محرر نص، المترجـم للغة الآلة، إلخ..) أو متعددة الأنشـطة (قاموس البيانات، إدارة بنيـة البرنامـج أو تكوينه، إلخ...) وذلك حسـب ارتباطها بنشـاط محدد بدقة أو بمجموعة من أوجه النشاط المختلفة.

ب- طبيعـة المشـاريع- يتـم تحديد طبيعة المشـروع مـن خلال ثلاث مجموعات مـن المتغيرات أو العوامل: حجم المشـروع، ونمط توزيع النظام البرمجي، ونوع البرامج السائد.

ويعد حجم المشروع عاملاً رئيسيا في اختيار الأدوات. فلن يكون لمشروع صغير الحجم سوى علاقة محدودة بالبيئة المحيطة به، في حين أنه سيكون على برنامج ضخم إدارة سيل عظيم من المعلومات بين مختلف المكونات الفاعلة في البيئة التنظيمية.

ويمكننا تمييز ثلاث مستويات:

- المشروع المحدود الذي يتولاه فريق واحد مكون من ٥ إلى ٧ أشخاص على مدى عامين إلى ثلاثة أعوام، أي ما يعادل جهداً قدره ٢٠ فع لإنتاج يعادل حوالي ١٠٠ كسم. وتركز الأدوات في هذه الحالة على مواطن حاجة فريق العمل المحددة.
- المشروع الكبير الذي يتطلب ٣-٤ فرق عمل على مدار عامين إلى ثلاثة أعوام، أي ما يعادل جهداً لايزيد عن ١٠٠ فع لإنتاج مالايزيد عن ٥٠٠ كسم. وينبغي لمشروع من هذا القبيل والذي يمثل استثماراً هاماً، أن يلتزم بدقة بمعايير المؤسسة وتفاصيل التنفيذ؛ ويعي صعوبة البنيان والتجميع، ومطلب سلامة التشغيل والأداء.
- المشروع الضخم الذي يتولاه ما يزيد عن خمس فرق عمل، ويحتاج لمقاولين فرعيين، متطلباً مشتريات ضخمة، وملزماً بتلبية المعايير الدولية (منظمة التقييس الدولية أيزو-٩٠٠٠، الاقتناء وتعزيز دورة الحياة المستمر CALS، إلخ...). وفي هذه الحالة سيزيد الجهد عن ١٠٠ فع لإنتاج يناهز ٥٠٠ كسم. ويقتضي الاستثمار الكبير الخاص بهذا النوع من المشاريع عُمر أو مدة حياة طويلة جداً (أكثر من ١٠ أعوام)، الأمر الذي سيفرض تغيير عدة تقنيات؛ وتكون هنا بنية النظام المعمارية وتجميعه بالغة التعقيد، كما يترتب على النظام البرمجي تلبية العديد من القيود، مع صعوبة تحديد الحل الاقتصادي المناسب. وتكون أوجه التواصل مع البيئة لمثل هذا المشروع أساسية ومكثفة.

هذا ويملي نمط تقسيم أو توزيع البرامج خيارات أدوات محددة. إذ تتطلب حزمة من البرمجيات خاصة بمشروع محدود دوماً إدارة لتكوين بنيتها، وذلك لمتابعة أوجه تطور المنصة، كما ينبغي شدة الحرص حينئذ على مراقبة الجودة.

ويُؤول نوع البرنامج الحاسوبي المصنع إلى ترجيح كونه يعود إلى أحد انواع البرامج الثلاثة أي البرامج من نوع ث وم وب، وسيلعب هذا الترجيح دوراً حاسماً إزاء خيار بيئات البرمجة ومكونات مراقبة المعالجة وأدوات الاختبار. فإن اخترنا مشروعاً ذا واجهات مستخدم هامة، يكون علينا اختيار مولد واجهات بيانية ملائم للغة التطبيقات. وإن قمنا بتصنيع برنامج حاسوبي لحظي أي يعمل بالزمن الحقيقي على طائرة، ينبغي ضمان أن المكون المنفذ اللحظي يتمتع بتصديق شهادة الطيران، إلخ...

تفرض إذن طبيعة المشروع نوعين من القيود:

- ضرورة إمتلاك أدوات محددة للمشروع؛
- استثناء أدوات محددة (تجنب إفراط في الحجم).

وحسب الضرورة والأولوية، يمكن وضع الجدول التالي.

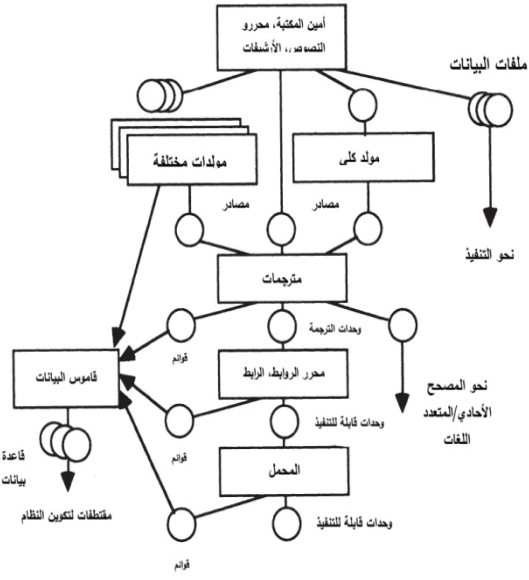
المراحل	المشروع المحدود	المشروع الكبير	المشروع الضخم
الأولى والثانية	• معالجة النصوص		أدوات الماكيت
الثالثة	• معالج الرسوم البيانية • الجدول الالكتروني	• أدوات التصميم • المحاكاة	أدوات النمذجة
الرابعة	بيئة البرمجة	أوجه الأداء	عدة بيئات
الخامسة	تدابير التغطية	أدوات الاختبار ومقاومة الانحدار	
السادسة والسابعة	أدوات من نوع (SCCS) (نظام التحكم بشفرة المصدر) و ميك (MAKE)	أداة من نوع أر سي إس (نظام التحكم بالمراجعة)	• تجميع واختبارات النظام • إدارة النسخ • القياس
الثامنة	• قاموس البيانات • مقياس الجودة • إدارة المشروع الفردي	• إدارة تكوين البنية • إدارة التوثيق	إدارة مشروع النظام بما فيه من مقاولين فرعيين (مشاريع متعددة)

٣. ورش هندسة البرمجيات (بمساعدة الحاسوب)*:

أ) ورش التطوير- نظراً لمواطن التكرار والتداخل بين مراحل التطوير

* بالفرنسية (Ateliers de Genie Logiciel (AGL بالإنجليزية (Computer Aided Software Engineering (CASE) :

وأنشـطته، فـإن هناك دومـاً اسـتخدام آني ومتزامن لعـدة أدوات. فبيئة البرمجة تنطوي في الوقت الراهن على مايزيد عن عشرة أدوات مختلفة.



ومن الأهمية بمكان أن تكون جميع هذه الأدوات متماسـكة ومتناسـقة فيمـا بينهـا قدر الإمـكان، وأن تتجنـب تكـرر المعلومات الذي يعـد دائماً مصـدر أخطاء جسـيمة. وهذا التماسـك والتناسـق يجب أن يشـمل على الأخصـ واجهـات المسـتخدم أي التواصـل بين الإنسـات والآلـة والأوامر الخاصـة بالأداة (ويعني ذلـك إظهار أو عرض هذه الواجهات باسـتعمال نفس الأسـلوب ونمط التشـخيص، والدعم على الانترنت)، ويشمل أيضاً، أشكال البيانات.

ب) ورش وبيئات التطوير المتكاملة: نتحدث عن ورش أو بيئات التطوير المتكاملة حينما توجد بنية محددة مسبقاً تتيح تبادل المعلومات بين أدوات التطوير. وقد تكون:

١- قاعدة بيانات قادرة على التحكم بالكيانات المنبثقة عن أوجه نشاط عملية التطوير المختلفة. ونظراً لطيف الأدوات المتنوع الضروري لعملية التطوير، لا بد وأن تكون قاعدة البيانات هذه «مفتوحة» بحيث يستطيع المستخدم إضافة أنواع من الكيانات الجديدة ودمج أدوات جديدة. ينبغي إذن أن تكون الورشة أو بيئة التطوير مزودة بنموذج مجرد (نموذج مترفع)* موثق يستطيع مدراء بيئة التطوير النفاذ إليه لتمكين عملية تحديد المعايير والثوابت. ويتم التعبير عادة عن النموذج والنموذج المجرد له على شكل «علاقات الكيانات» (وحتى على شكل مخططات الصفوف المستعملة في البرمجة غرضية التوجه) المناسبة لهذا النوع من التمثيل.

٢- مجموعة من الواجهات البينية التي تتيح استقبال وإرسال المعلومات على شكل تبادلات معيارية تقليدية (مثل لغة XML وهي لغة الرقم القابلة للامتداد ذات القدرة على دعم هذا النوع من الواجهات)، بحيث تبقى لكل أداة حرية تبني نموذج بيانات مطوع لخدمة متطلباتها (ملاحظة: بنية البيانات الخاصة بالمترجم إلى لغة الآلة مختلفة تماماً عن بنية محرر النص، وإن اشتركا في عناصر مثل الأشجار النحوية).

وقد ساد هذا النهج الأخير بلا منازع، بعد المحاولات الموءودة لمشاريع حكومية ضخمة انطلقت مع حمى حقبة الثمانينات PCTE في أوروبا، وSTARS وCAIS في الولايات المتحدة، وPCIS المشترك لدى كل من أوروبا الوسطى والشرقية والولايات المتحدة)، والتي انتهت جميعها بإخفاق مالي تام واسع النطاق.

* أي Meta Modele وهو الذي يحتوي على إمكانيات للتعديل ولتغيير العوامل والثرابت والمعايير في الأداة دون أن يؤثر ذلك على عملها :

هناك أدوات وافرة معروضة في الوقت الراهن، وهي تتعامل على نحو جيد، مع لغة واحدة أو عدة لغات (Visual Basic، C#، Java، C++...) ومزودة بواجهات سهلة الاستخدام إلى حد كبير، كما أنها تمكن المبرمجين من التحرر من المهام اللوجستية التي لا غنى عنها، وإن كانت مملة أحياناً لأنها تنطوي على الكثير من التكرار الذي يجعلها عرضة للعديد من الأخطاء.

باتت الهندسة اليوم حول شبكة الانترنت تتطور في سوق تنافس حرة، تكاد تسيطر عليها تماماً الولايات المتحدة الأمريكية، وهي تتمركز بشكل خاص حول لغات جافا وسي#C.

أخيراً، تجدر الإشارة إلى جهود كل من مؤسسة البرمجيات الحرة (Free Software Foundation) ومشروع غنو (GNU) لدي معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا MIT، التي تزود منذ عدة سنوات مستخدمي نظام التشغيل يونكس بأدوات أساسية جيدة.

الفصل الخامس

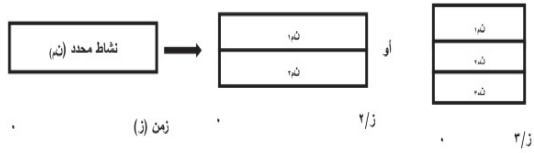
حركية دورة التطوير وديناميكيتها وتنظيمها

١. حالات الاتزان والتقلب

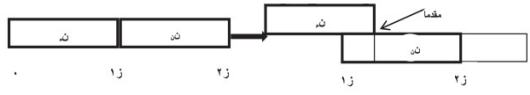
تعطي دورة التطوير الإسمية المستعرضة في الفصل الرابع رؤية راكدة للتطوير، بيد أن الأمور ليست بهذه البساطة على الصعيد التطبيقي، فكل شيء يتحرك.

هذا وهناك بعض المراحل التي يمكن إجراؤها بالتوازي، مثل المرحلتين الأولى والثانية، في حين أنه ينبغي لمراحل أخرى أن تكون منفصلة تماماً، مثل المرحلتين الرابعة والخامسة. ونلاحظ في الواقع في جميع الأحوال تقريباً فترات تداخل متفاوتة الطول بين المراحل نظراً لكون الانتقال بين هذه المراحل تدريجي بشكل عام.

ويحرص المقاول الرئيس بصفة عامة على انقضاء فترات العمل- الذي يسفر عن تكاليف مستمرة- في أسرع وقت ممكن. من هنا تنبثق ثلاث تحديات:



التحدي الأول: إلى أي مدى نستطيع تجزئة مرحلة ما؟



التحدي الثاني: متى نستطيع المباشرة بمرحلة ما في حين لم تنته بعد المرحلة السابقة ها؟

مـن جهة أخـرى، إن كان تاريخ بدء مرحلة ما محدداً بشـكل واضـح (هناك شخص واحد على الاقل مسؤول عن ذلك!)، ربما لا يسهل الإعلان عـن انتهاء مرحلة مـا إن لم نحقق المعايـير الكمية التي تحـدد نهاية هذه المرحلة، ومن هنا ينبثق:

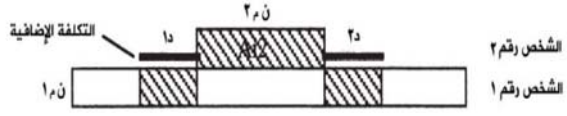
التحدي الثالث: متى ينبغي التوقف؟

معايير التجزئة:

لتجزئة نشاط محدد ما (م$_{ن}$) ينبغي:

- أن نسـتطيع تمييز أجزاء مسـتقلة ضـمن هذا النشـاط، تسـمح لنا بتكليف شخص إضافي بها.
- أن يكـون لدينـا حقاً شـخص يتمتـع بالمؤهلات المطلوبـة لتولي هذا النشاط الفرعي.

وفيما يلي الرسم التوضيحي لمبدأ تجزئة النشاط:

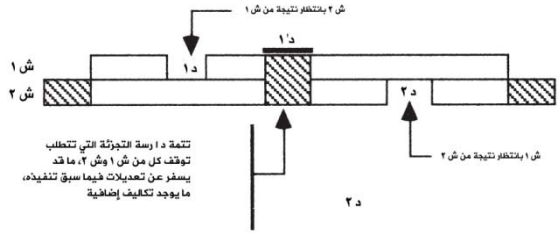


- تمثل د١ التكلفة الإضـافية المترتبة على الشخص الأول لكي يستطيع الشخص الثاني مباشرة العمل.
- تمثـل د٢ تكلفـة التكامـل لكي يتمكن الشـخص الأول من اسـترجاع تماماً كل ما قام به الشخص الثاني.

ولكي تكون عملية تجزئة النشاط مربحة، لا بد من تحقق ما يلي:

د١+ د٢ < ن م$_{٢}$ حيث ن م = ن م$_{١}$ +ن م$_{٢}$

وفي حال شـاب تحليـل عملية التجزئة خلل ما، أو جرى التسـرع فيها، تمثل أوجه نشـاط ثغرات تنطوي على تكاليف و/أو مواطن التأخير التي لا يمكن تعويضها كما يوضح الرسم التالي:



يصبح حينئذ شرط تحقق الربحية، بعد عدد ع من فترات الانقطاع:

$د_{١} + د_{٢} + د'_{م} \sum_{م=1}^{ع} + د_{م} \sum_{م=1}^{ع}$ حيث $د_{م} < ن_{م}$

لا بد إذن من توخي الحذر الشديد وحسن الاستعداد لكي تكون عملية التجزئة مربحة.

معايير التداخل والإنهاء:

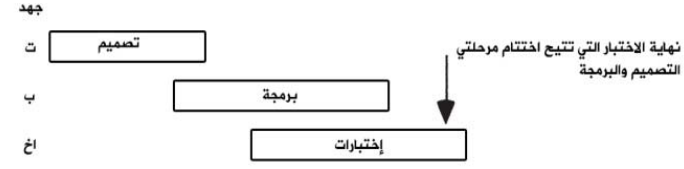
التداخل ظاهرة حركية، تماماً كما التداخل الموجود في اشتعال محرك رباعي الأشواط. وتتوقف إمكانية حدوث تداخل على طريقة انتهاء المرحلة السابقة، وظروف انطلاق المرحلة الجديدة ومتطلباتها. هذه الدينامية تأتي على شكل منحنى S تقليدي.

ويمكن اعتبار حالتين:

- المراحل أو أوجه النشاط المغلقة: تتوقف معايير إنهاء النشاط على النشاط وحده، فنستطيع تحرير الموارد تماماً بانتهاء المرحلة. وكمثال على ذلك مرحلتي توصيف المتطلبات والتجميع.
- المراحل أو أوجه النشاط المفتوحة: لا يمكن إعلانها منتهية إلا بانتهاء مراحل أو أوجه نشاط أخرى أيضاً. ينبغي هنا الاحتفاظ بفريق متبق أو، على الأقل، الاحتفاظ بإمكانية تغيير فريق العمل كلياً أو جزئياً.

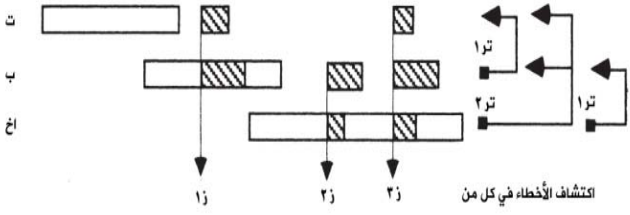
وكمثال على ذلك مرحلتي التصميم والبرمجة، فهي مراحل لا يمكن اعتبارها منتهية حتى إجراء آخر اختبار بنجاح.

في عالم مثالي وخالٍ تماماً من الأخطاء، يكون الوضع كما يلي:



تكون إذن المحصلة المثلى للجهود: ت+ ب + اخ

إلا أنه في عالمنا البعيد عن الكمال، يكون الوضع أشبه بما يلي:



هناك نوعان من التغذية الراجعة:

- التغذية الراجعة أحادية المستوى ونرمز لها تر١: وهي اكتشاف خطأ في مرحلة، من مراحل التطوير يعود سببه إلى المرحلة السابقة مباشرة. وهو ما يحدث في الزمن ز١ و ز٢. وكمثال نموذجي لهذا النوع اكتشاف خطأ أو برنامج يعمل في مرحلة البرمجة واختبارات الوحدات (المرحلة الرابعة) يرجع سببه الى المرحلة السابقة أي مرحلة التصميم (المرحلة الثالثة) يكشف عن عدم اتساق في

التصميم التفصيلي.

- التغذية الراجعة ذات مستويين ونر مزلها تر٢: وهو ما يحدث في ز٣ ويتطلب العودة إلى مرحلتين سابقتين مثل البرمجة والتصميم. وهي الحالة النموذجية لخطأ يكتشف في عمل واجهة المستخدم والحاسوب ويقتضي تعديل في مرحلة التصميم، ومن ثم جميع البرامج المتعلقة بها في المرحلة البرمجة.

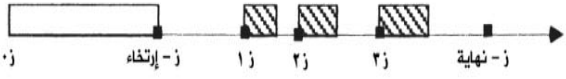
في حال الكشف عن عدد (ع) من الأخطاء، تصبح المحصلة:

$$\text{ت+ب+اخ} + \sum_{م=1}^{ع} د_{م}^{٣} + \sum_{م=1}^{ع} د_{م}^{٢} + \sum_{م=1}^{ع} د_{م}^{١}$$

ويصبح موعد النهاية من العمل في المرحلة المعتبرة:

$$\text{ز}_{\text{نهاية}} \leftarrow \text{ز}_{\text{نهاية}} + \sum_{م=1}^{ع} \Delta_{م}$$ حيث $\Delta_{م}$ التأخير الناجم عن الخطأ م.

ويكون شكل المدة الزمنية أو العبء لمرحلة مفتوحة من مراحل تطوير المنتج على النحو التالي:

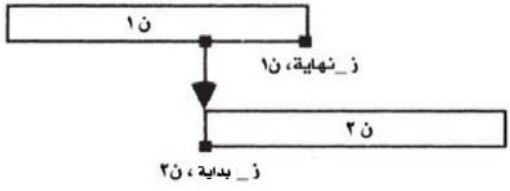


ويعّرف موعد الإرخاء بأنه الموعد الذي كان مخططاً لتحرير الموارد الخاصة بالمرحلة.

يتضح إذن إنه كلما ابتعد موعد الكشف عن خطأ عن لحظة زمنية ز ر، كلما بات من الصعب، وقد يكون من المستحيل، تصحيح هذا الخطأ، لمجرد كون الموارد قد خصصت لمواطن أخرى ولم تعد متاحة.

يفضل إذن الكشف عن أكبر قدر ممكن من الأخطاء قبل تاريخ تحرير موارد المرحلة، والكشف عن تلك الأخطاء الأخرى قبل تفرق أعضاء فريق المرحلة: وهو دور تداخل المراحل.

تأتي عملية التداخل على الشكل التالي:



حين يبدأ النشاط ن٢، حكماً لا يكون ن١ قد انتهى بعد. وثمة عدم يقين إذن حول تاريخ ز___نهاية ن١ لاسيما وأن التداخل ضروري.

وحتى لينطلق ن٢ فعلياً، ينبغي تكوين نواة فريق، وتخصيص موارد بشكل مسبق للقيام بعملية التدرج في زيادة أعباء الفريق. وتورث حينئذ جميع تحديات التجزئة التي سبق الوقوف عليها، مع وجود عامل مفاقم، وهو كون المراحل منفصلة منطقياً، ما قد يملي أوجه تنظيم متباينة. ويتضح أنه في حال لم يكن قد تم الإعداد جيداً للعملية من قبل أفراد متمرسين، يتعاظم خطر حدوث أوجه خلل مكلفة.

أما العامل المحدد لنجاح هذا النوع من العمليات فهو:

-من جهة، ثبات التوقعات مثل أزمنة نهاية المراحل وتكاليف المراحل، الأمر الذي يقتضي إدارة مشاريع بالغة الدقة؛

-من جهة أخرى متابعة منتظمة لمعدل تغيير جميع العناصر التي يتم تسليمها، ما يتطلب كذلك إدارة بالغة الدقة لتكوين بيئة البرنامج الحاسوبي.

من الضروري إذن توافر آلية قياس لتتبع تطور مختلف العمليات المتفاعلة مع بعضها بعضاً. وينبغي أن تكون هذه الآلية ذات دلالة ودقة إزاء الظواهر المرصودة، لا سيما وأنه لا غنى عن هاتين السمتين لضمان ثبات التوقعات. ولغياب المقاييس الحقيقية (الذي وجودها غاية بعيد من غايات هندسة البرمجيات) من الأسهل في بعض الأحيان التعويض عنها باللجوء

إلى تحديد مؤشرات للميل أو التوجه. وفي ضوء جميع هذه المعلومات التي ينبغي أن يبقى عددها معقولاً، يقرر رئيس المشروع ما إذا كان سيعتمد التوقعات المرسومة.

وفي مشروع نظام برمجي مدار بشكل جيد، تسير الأعمال من مرحلة لأخرى على نحو مستقر، بيد أن حالة الاستقرار هشة بشكل عام، إذ أن اتخاذ بعض القرارات غير الموفقة، أو الإفراط في التفاؤل، أو الافتقار إلى صفاء التفكير، هي أمور كافية لكي يتحول انسياب العمليات إلى حالة اضطراب فورية، تسفر لا محالة عن تراجع معدل الإنتاج. ولا يكون استقرار سير العمل ممكناً إلا حينما يكون بنيان النظام البرمجي سليماً، وأسلوب تنظيم المشروع ملائماً لتحقيق غرضه.

٢- توصيف المتطلبات

من منظور عملية تطوير دينامية، نرى أن السمة الأولى لعملية توصيف المتطلبات هي أن تنطوي على توقعات متوسطة - بعيدة المدى.

وفي سياق حزمة البرمجيات، فإن الأمر يتعلق بتوقع سليم لحالة السوق، والاستعداد لتوزيع نسخ متتالية في فترات زمنية منتظمة إلى حد ما تعمل مع طيف متنوع من التجهيزات.

في حال البرمجيات الجاهزة (مفتاح باليد)، يمكن أن يكون مدى التوقعات من ثلاثة إلى خمسة أعوام، وهو نطاق واسع في سوق تشهد تطورات سريعة مثل سوق البرمجيات، في حين تكون مدة حياة النظام طويلة بشكل عام، أي تعادل ١٥ عاماً فأكثر.

فلنقف عند تأثير توصيف المتطلبات على كل من حركية ودينامية وتنظيم دورة حياة النظام على التوالي:

آ- سياسة الاقتناء (المشتريات): وهي السياسة الخاصة بالصنع أو الشراء. فأسرع وسيلة لتطوير وظيفة ما هي بشرائها جاهزة حينما تكون متوافرة، ومن ثم ضمها إلى النظام الحاسوبي الذي نقوم بتطويره. وفي جميع الحالات، يُنصح بتحديد وجود مصدر ثاني للوظيفة، و، بمصطلح

تقنـي، تغليف هـذه الوظيفة في حـال كان يوماً ثمة ضـرورة لتغيير المورد. وينبغـي توخي الحـذر من التقنيـات التي تكـون في آخـر دورة حياتها لأن مطورهـا لـن يتابع الاسـتثمار فيهـا، وكذلك توخـي الحذر مـن التقنيات البازغة، حيث أن احتمال عدم نجاحها عال.

ب- إدارة المتطلبـات: بالنظر إلى وجود عدم اليقين، لا بد من القدرة على تأجيل أو إلغاء حاجة ما فيها إشكال في العائد على الاستثمار الخاص بها، والقدرة طبعاً على إضافة حاجة جديدة.

لعل العامل الأكبر المتسـبب في تأخير انجـاز المنتج هو تطوير وظائف غـير مجدية، وهو مـا أطلق عليه العالم بي. بوهيـم «الطلاء بالذهب» وهو أمر شديد الانتشار في المشاريع الكبيرة.

ولا يكون هذا التأجيل أو الإلغاء صعباً طالما لم تبدأ بعد عملية التطوير فعليـاً، بيـد أن الأمور تـزداد تعقيداً في الحالـة المعاكسـة، إذ ينبغي وقف التصـميم والبرمجة والاختبـارات المتعلقة بالحاجة بشـكل سـليم. وهذا أمر حريج في حال المتطلبات المسـهبة، مثل سـلامة التشغيل والأمن وأوجه الأداء.

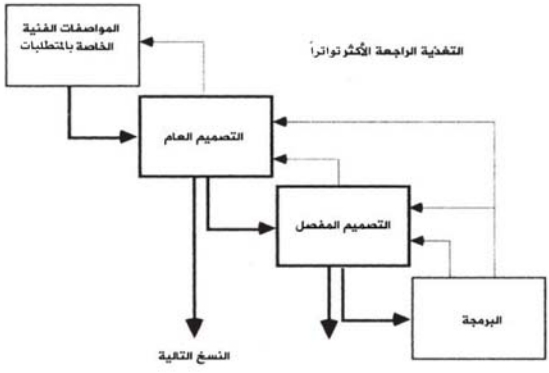
ج- ضـبط التكاليـف: يحدد توصـيف المتطلبات القيمة الاقتصـادية لمختلف أهداف التطوير، بيد أن تكاليف هذه الأهداف المتباينة تكون بالغة الغموض عندما نبدأ بتوصـيف المتطلبات. وعند نهاية مرحلة التصـميم، يكـون هذا اللبـس المحيـط بالتكاليف قد تبـدد جزئياً، ولا بـد حينئذ من تحديـث تحليل قيمة النظام البرمجي، بحيث يتـم تحديد ما ينبغي حذفه أو تغييره أو حتى إضـافته، وإعادة التفاوض في نهاية المطاف على الميزانية المخصصة في البداية.

جدير بالذكر أن تنظيم الجهود الخاصـة بالتطوير هو نتيجة مباشرة لعمليـة تحليـل المتطلبـات. ومـن المعتـاد أن تكـون جميع عناصـر النظام

موصفة لتكون أقرب ما يكون إلى الكمال ومحسنة على نحو لا فائدة منه- وهي أيضاً ظاهرة الطلاء بالذهب- الأمر الذي يسعد المبرمجين الذين تكاد هذه النزعة تكون سمة نفسية يتميزون بها. وفي حال برامج من النوع برمجب ذات الواجهات المبهمة مع البيئة المحيطة بهم، لا بد من التحكم بحزم بجميع هذه الواجهات التي يصعب جداً التحقق منها ومكاملتها مع النظام. ويعد استخدام الماكيت والمحاكاة، مصحوباً بسيناريوهات الاستخدام التي يصادق عليها المستخدمون الحقيقيون، وسيلة جيدة لتعريف الكل بالبعد الاقتصادي. ذلك أن اللبس المحيط غالباً بحدود النظام البرمجي، مصحوباً بالتفاؤل الطبيعي الذي يتسم به خبراء تقنية المعلومات، كثيراً ما يولد إشكالات – فهذا مدخل كبير لحالات عدم الاستقرار- وكوارث اقتصادية في نهاية المطاف.

٣. التصميم وبنية النظام الهيكلية

يعد بنيان النظام البرمجي، نظراً لمكانته المحورية في السياق الاقتصادي الإجمالي لدورة حياة النظام، المنظم الرئيس له.



لا تتوقف ظروف تنفيذ النسخة الأولى فقط على صحة بنيان النظام، بل كذلك النسخ التالية أيضاً وحياة النظام البرمجي الإجمالية في نهاية المطاف.

١ - طبيعة بنيان النظام- ينجم بنيان النظام عن ثلاث مجموعات من القيود:

القيود الفنية المرتبطة بطبيعة النظام ومهامه.

القيود التقنية المرتبطة بوسائل وأدوات التصنيع المتاحة.

القيود الإنسانية المرتبطة بخبرة المستخدمين وبمدى نضج مؤسسات التطوير.

وتعد هذه القيود، والحلول الوسطية الناجمة عنها، جوهر مراحل توصيف المتطلبات والتصميم.

أما التحدي الذي يواجه مهندس بنيان النظام، فيوجد بغض النظر عن التقنيات المتوفرة أو التي ينبغي اختراعها لمعالجته. فمن بين المعضلات التي تواجه المهندس مايلي:

هل بوسعه أوعليه تصور نظام بتجرد تام عن الظروف التقنية أو الإنسانية المتاحة، وهذا ينطوي على خطر الانتهاء بنظام غير قابل للصنع؟

هل بمقدوره أوهل عليه تصور نظام كنتيجة للتقنيات المتوافرة، وهذا ينطوي على خطر التشتت بين هذه التقنيات؟

ينبغي ألا يغفل مهندس بنيان النظم البرمجية أبداً عن كون إحدى ميزات النظام البرمجي هي مرونته وقابليته للتكيف. وهذا يحتم عليه حفظ هذه السمة، فالبرنامج الحاسوبي هو دائماً الذي يتكيف لدى ارتقاء النظام.

وعند إعداد مواصفات البنيان، لا بد دائماً من الفصل بين:

- وصف النظام كما يظهر في واقعه المادي، بما في ذلك أوجه النشاط سواء اليدوية أو الآلية التي يقوم بها النظام. هذا العنصر الأول هو النموذج المفاهيمي.

- الوصف المنطقي للنظام الناجم عن الخيارات التقنية التي هي بمثابة حلول توفيقية ما بين المقتضيات الخاصة بمهمة البرنامج الحاسوبي، وتكاليف-مواعيد الاقتناء والتطوير ومستوى التقنيات، والموارد البشرية المتوافرة، وهذا ما يسفر عن النموذج المنطقي.

فيما يلي المراحل الرئيسية من هذا التحليل:

	الوصف
١	صنع النموذج المفاهيمي نقوم هنا بتطوير نموذج يعكس الوضع الفعلي والحقيقي الخاص بالإجراءات والبيانات والأحداث والعلاقات التي تربطها.
٢	المصادقة على النموذج المفاهيمي نتأكد بمساعدة سيناريوهات وبالتعاون عن كثب مع المستخدمين من دقة وصحة النموذج المفاهيمي.
٣	تكوين التعبيرات التجريدية المنطقية انطلاقاً من النموذج المفاهيمي، تقوم بدراسة مبدئية رامية إلى الكشف عن أوجه التجريد الذي سيسمح بالفصل ما بين الجوانب التقنية والإجراءات والبيانات الأساسية الخاصة بالنظام والتي ينبغي أن تكون مستقلة عن الخيارات التقنية.
٤	تنظيم البيانات استناداً إلى الاشياء والكيانات المستقرة التي تحدد الأنشطة الرئيسة للنظام، نقوم بتطوير بيئة البيانات الأنسب.

٥	تنظيم العمليات انطلاقاً من الأحداث التي يستجيب لها النظام، نقوم بتحديد مختلف العمليات اللازمة وأوجه التسلسل.
٦	توصيف البنية المعمارية المنطقية إعادة تشييد النموذج المفاهيمي مع إدراج جميع القيوم التقنية والإنسانية والفنية فيه.
٧	التحقق من صحة النموذج المنطقي واعتماده نقوم بالتأكد من كون نتائج المرحلة الثانية لازالت صحيحة، وأن الخيارات الفنية والتقنية لا تزال تلبي متطلبات المستخدمين أو وكلاء المقاولين الرئيسيين. عندئذ يتم التصديق على بنيان النظام من قبل جميع الجهات ذات الصلة.

جدير بالذكر أن نهج مهندس بنيان البرنامج هو نهج إبداعي بامتياز، وأن الأدوات والأساليب المصاحبة لهذا النهج هي أدوات نمذجة في المقام الأول.

ويمكن أن تكون النمذجة:

- نوعية، أي وصفية وغير رسمية، وينبغي أن لاينفي هذا عنها صفة الدقة والصرامة.
- كمية، أي أنها تسمح بإجراء بعض الحسابات الخاصة بتقدير الحجم، أو التأكد من التلاحم المنطقي في نماذج البيانات أو العمليات (طوابير الانتظار، شبكات بيتري ...).

هذه الأدوات لا يمكن أن تحل قط محل الإبداع.

ليس كل من يود أن يكون مهندساً معمارياً يتحقق له ذلك. فممارسة

الملاحظة والتحليل، والإحاطة بالموضوع محل الدراسة وما نوليه من اهتمام، والنظر للموضوع من منظور تحديات شبيهة، جميعها عوامل محددة لمستوى أداء المهندس المعماري. وبعد جمع جميع الحقائق أو المتطلبات التي تتصف بالاستقرار، سواء كان في حالتها (البيانات)، أو في علاقاتها السببية أو التسلسلية (العمليات)، يقوم مهندس بنيان البرنامج بتجسيد ملاحظاته، وربطها بعلاقات وظيفية تسلط الضوء على السلاسل السببية والمنطق الذي يبرر ظهور هذه الصفات المصاحبة أو المتتالية. ويعد استخدام السيناريوهات وسيلة هامة للكشف عن مواطن الثبات البنيوي. وينبغي إثر هذه الدراسة توليف وتجريد، ومن ثم ترسيخ، وتحديد ما ينتمي إلى داخل النظام وما ينتمي إلى خارجه، وما يبقى في حيز مسؤولية المستخدمين.

من الأهمية بمكان أن تتبع هذه العملية عن دراسة مفاهيمية بالغة الدقة تحدد بشكل محكم المفردات المستخدمة طيلة حياة النظام، بحيث تمكن مختلف اللاعبين من التواصل دون لبس. وكما هو شأن الرياضيات، ينبغي إيجاد رموز وقواعد بنيوية للمفاهيم، مع الحرص على عدم التعامل مع الرمز على أنه مفهوم، لأن خطر التناقض يبقى قائماً. ومن شأن رموز غير دقيقة أو غير محددة بشكل جيد أن تسفر لا محالة عن عمليات معالجة مثيرة للريبة، كتلك التي حذر العالم بولزانو منها بشأن السلسلة اللامتناهية: المجموع م = ١-١+١-١+١... قد تساوي صفر أو (١) أو (½) حسب طريقة وضع الأقواس (ملاحظة: لا حدود لمثل هذه العبارة!)، أو التمكن من إثبات عبارات عبثية على غرار:

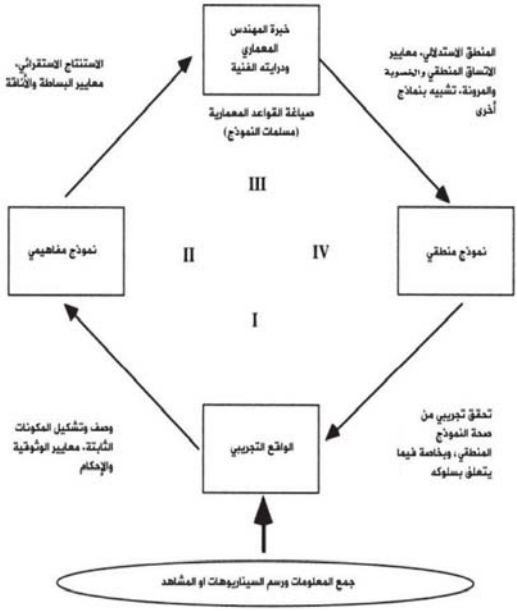
$$-1 = \sqrt{1} = \sqrt{(-1)^2} = (\sqrt{-1})^2 = i^2 = (1-)$$

كما أن مجموعة رموز غير ملائمة للمعضلة التي ينبغي حلها، أو ببساطة غير مفهومة على النحو الصحيح من قبل مستخدميها (وبالتالي غير مستخدمة على النحو الصحيح) تمثل خطراً لا سيما وأنها تبدو

دقيقـة. فالرمـوز أسـلوب تركيب وترتيب جمـل –تماماً كما الرياضـيات بالنسبة للفيزياء– لا يضمن عدم قيامنا بكتابة عبارات غير ملائمة.

يتطلب برنامج حاسوبي كبير تجزئة النظام إلى نظم فرعية، وهذا ما يتولاه فريق من مهندسي بنيان النظام. فإذا كان (س) هو عدد المهندسين، فـإن عدد جولات الحوار التـي تُجرى فيما بينهم ع=س(س–١)؛ وفي حال اتبعنا أسلوباً تنظيمياً ينطوي على وجود مهندس معماري وسيط، فإن عدد جـولات الحوار هو ص=٢س. وفي سـياق جـولات الحوار، فإنـه من قيمة س=٣ فصـاعداً، يكون الخيار الأرجح من الناحية الاقتصادية هو اختيار أسـلوب تنظيمـي ينطوي علـى مهندس وسـيط يتولى مسـؤولية كل الأمور التي تشـترك فيها النظم الفرعية. جدير بالذكر أن ما ينجم عن ذلك من طبقنـة يتوقف على طبيعة الحل المتبع؛ إذ ينبغي أن يتحلى الوسـيط بنفوذ يقـر به زملاؤه فيما يتعلق بالقضـايا التي ينبغي معالجتهـا، كما ينبغي أن يكون ذا قدرة متميزة على التواصـل. وفي سياق التداعيات، بوسعنا تصور المشـاكل المعقـدة التي تظهـر حينما نختار أسـلوباً ما لإدارة مشـروع دون الاهتمام حقاً بالتحدي الذي ينبغي معالجته من خلال المشروع، فهناك ما يدعـو إلـى الاعتقاد بأن الإدارة في هذه الحالة سـتكون غير مؤهلة لمعالجة المشـاكل التي لا تعد ولا تحصى والتي سترفع إليها، وأنها ستوكل القرارات المهمة للجميع لمسـؤولي المهام الدنيا. وهذا من أهم أسباب انهيار المشاريع الكبيرة.

٢- بنـاء النمـاذج: ينطوي النشـاط المعماري في المقـام الأول على تشـييد النماذج كما سـبق أن أوضـحنا. ويمكن توضـيح هذا النشاط من خلال الرسم التالي:



أن نقطة البداية في هذه الدورة إما أن تكون عند I حين نبدأ من نقطة الصفر لمنتج جديد كلياً، أو عند II حين نطلق من كيان ما موجود نود تعزيزه (الصيانة الارتقائية) أو إعادة صنعه (الهندسة العكسية).

بالنسبة للنظم الكبيرة، يتعذر عموماً إدراج كل ما نريد تضمينه في النموذج في آن واحد. وهذا يحملنا على خوض عدة دورات لإثراء النموذج البدئي بشكل تدريجي ومحكم. ومن المهارات التي لا تزال نادرة جداً والتي ينبغي توفرها في المهندس المعماري، مهارة القدرة على تمييز النظام الفرعي الذي سيتيح إطلاق العملية والقيام بدور المركز التنظيمي

الذي ستلتحم حولة بشكل تدريجي الوظائف التي تضمن الغطاء الوظيفي الكامل للنموذج.

من تحديات عملية النمذجة، تجنب كون قواعد البناء التي يتم اعتمادها بادئ الأمر، والتي تكون بمثابة مسلمات النظام، مفرطة الارتباط بالواقع التي انبثقت منه، بحيث يعاد النظر فيها عند كل جولة تكرار.

في المرحلة الأولى من النمذجة، تنطوي الصعوبة إذن على تجنب تبني أسلوب "هيروغليفي" نخلط فيه بين المفهوم، وما يمثله. ويعكس تاريخ العلوم والتقنيات وتشريح عدد من المشاريع التي تم إجهاضها، صعوبة هذا النوع من الممارسة.

ومن القيود التقنية التي لا فائدة من التجرد عنها، تلك القيود التي تشكل جوهر الحاسوب ذاته:

- مفهوم البيانات، الذي نربطه بشكل طبيعي بمكونات النظام الثابتة، وبالتمثيل الراكد لحالات النظام.
- مفهوم التعليمات والخوارزميات التي تحول البيانات، والتي سنربطها بشكل طبيعي بعمليات الانتقال بين الحالات، وإدارة الأحداث والتمثيل الحركي لمراحل ارتقاء النظام المتتالية.
- تشارك الأوامر والبيانات حيز الذاكرة في الحاسوب، ما يسمح لبرنامج ما بتصنيع برنامج آخر (وهي آلية "الربط أو الإقلاع أو تمهيد التشغيل")*؛ ويتم التواصل مع العالم الخارجي بواسطة قنوات تقنية.

ويظهر لدينا من حيث النمذجة:

- نماذج البيانات (المفاهيمي والمنطقي) التي تقوم بوصف الحالات الثابتة.

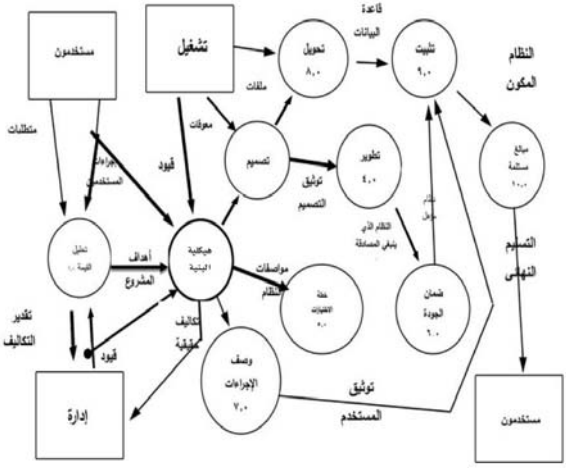
* Boot Strap :

- نمـاذج المعالجـة التـي تقـوم بوصـف تسلسـل وتعاقـب العمليـات (السيرورات).

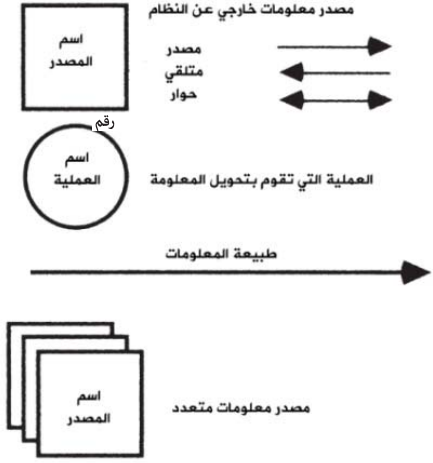
يضـاف إلى ذلك، أن هذه الرؤية هي رؤية هرمية، وذلك حرصـاً على القدرة على فهم كل من مستويات التجريد، التي ينبغي أن تبقى مستقلة.

٣- تمثيـل النمـاذج: تتفـاوت نهج التمثيل – وهـي بيانية في المقام الأول- التي نجدها في أساليب التصميم [١٢، ١، ١٥، ٢٠]، بيد أنها تستند إلى بعض المبادئ العامة التي سنذكر بها بإيجاز.

أ-مخططات السـياق- وهي التي تصـف علاقـة النظام ببيئته. في هذا النموذج الشكلي، يمكن تمثيل عملية التطوير كما في الشكل التالي:



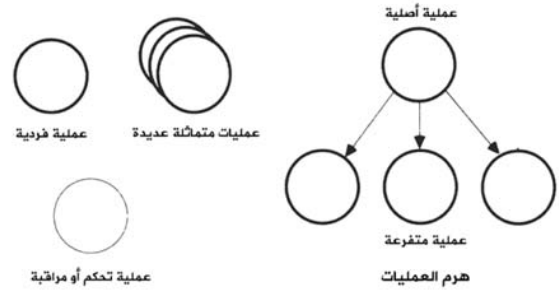
وفيما يلي الرموز الأساسية الخاصة بتمثيل مخطط السياق:



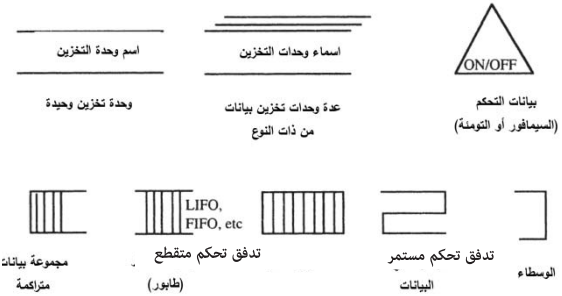
الجديـر بالذكـر أن الغاية من هذا المخطط هو رسـم حدود النظام، وتجسيد العمليات الأساسية.

ب - مخططـات تدفق البيانات: يمكن تعزيز مخططات السـياق مـن خلال وصـف بنية البرنامج الحاسـوبي بدقـة عند مسـتوى التجريد المطلوب باستخدام التمثيل بالرموز التالية:

- أنواع العمليات المختلفة:

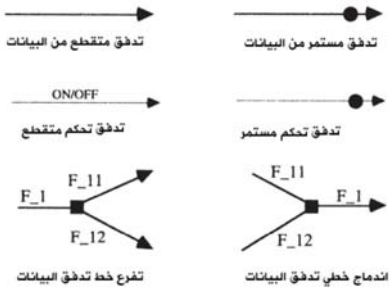


- البيانات الثابتة:



جديـر بالذكر أن مجموعة دقيقة من العمليات تصـاحب كلاً من هذه الهياكل.

- اتجاه انتقال المعلومات ونوعها



ويصاحب عملية إعداد مخططات تدفق البيانات تَوْليدُ مجموعة مصطلحات للتعبير عن جميع مكونات هذه المخططات، وهو ما يسمى بقاموس البيانات.

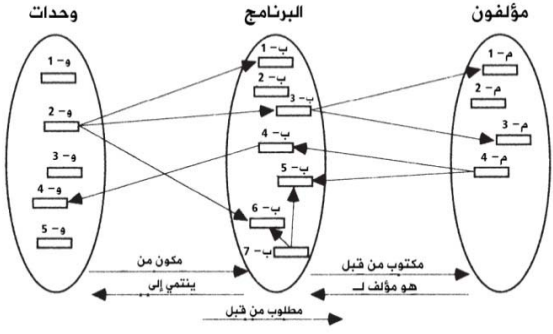
ج- مخططات علاقات الكيانات: يُطلق على كل كيان أو وحدة مفهرسة في مختلف مناطق تخزين البيانات اسم كيان خاص به، وهو الاسم الذي يُعرف به هذا الكيان في قاموس البيانات. وينطوي دور نماذج البيانات على:

- وصف بناء أو هيكل الكيانات (الهيكل المفاهيمي والهيكل المنطقي والهيكل المادي في الذاكرة).
- وصف علاقات الترابط ذات الأهمية (أي تلك التي من شأنها تبسيط عمليات المعالجة أو تحسين عامل السلامة).

أما المستوى الأول من نمذجة البيانات فنموذج علاقات الكيانات، وهو نموذج مفاهيمي خالص، منفصل عن أية تقنية وأي تمثيل للذاكرة. ويستند هذا النموذج رياضياً إلى نظرية الصفوف أو الفئات والعلاقات، حيث تُجمع الكيانات في مجموعات من الكيانات المتجانسة التي تكون صفوف الكيانات. نستطيع حينئذ دراسة علاقات الترابط الممكنة بين

مختلف الكيانات.

وبالنظـر إلـى الكيانات التي توجد في مشـروع حزمة برمجيات، نجد العلاقات التالية:

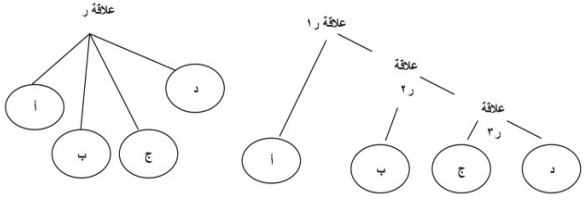


ويمكن أن تكون العلاقات على درجات:

- أحاديـة: وهي علاقـة جامعة تُعّرف مجموعة ما (على سـبيل المثال: العلاقة س هي- وحدة).
- ثنائيـة: بين كيانـين ينتمي كل منهمـا إلى مجموعة مسـتقلة، أو بين كيانات المجموعة الواحدة، كما هو مبين أعلاه.
- ثلاثية: بين ثلاثة كيانات، كما العلاقة بين برنامج مصدر والبرنامج الاثناني المطابق له، وخيارات الترجمة الى لغة الآلة.

وبصـفة عامة، تحدد دالة (أو تابع) ذات عدد ع من العناصـر علاقة من الدرجة ع بين مجموعات تعريف مدخلات هذه الدالة.

ويمكن دائماً تفريع علاقة متعددة ما إلى عدة علاقات ثنائية: (انظر الشكل التالي).



بيد أن الأمر تطلب إضافة علاقتين مصطنعتين. وعلى الصعيد العملي، يسود استخدام العلاقات الثنائية إذ يمكن تمثيلها بمنتهى البساطة.

وتتميز العلاقة الثنائية بمجموعتين و دالتين:

كما تتميز العلاقة بالطبيعة «الرئيسية»* للمجموعات التي تربطها، سواء:

[١:١] أي دالة عادية واحد إلى واحد

[١:ن] دالة مباشرة ذات عدد (ن) من الصور (من واحد إلى كثير).

[م:١] ودالة عكسية ذات عدد (م) من الصور (من كثير إلى واحد).

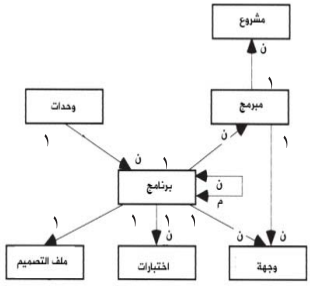
[م:ن] ثمة (م) من الكيانات من مجموعة البداية لهم (ن) صورة.

وتساعد سمة الطبيعة الرئيسية في اختيار نمط التمثيل المادي الأنسب.

* الطبيعة الرئيسية = Cardinalite :

بيد أن ثمة عناصر لا يمكن أن تكون لها صورة، فتكون الدالة حينئذ جزئية. والجدير بالذكر أن معظم الدوال المستخدمة في البرامج هي دوال جزئية. وباستخدام هذه المفاهيم المنطقية بالغة البساطة يمكن إضافة عدد كبير من المعلومات بشأن طبيعة الروابط القائمة بين الكيانات المختلفة. كما أن العمليات الكلاسيكية الخاصة بنظرية المجموعات (X ، $\subset$ ، $\in$ ، $\cap$ ، $\cup$) الخ... هي عمليات قابلة للتطبيق في هذا المقام.

من ثم يمكن تشييد رسوم بيانية معززة كما هو مبين:



في حال كان عدد الكيانات كبيراً وكانت هذه الكيانات بالغة الاختلاف فيما بينها، تتم إدارة الكيانات من قبل نظم إدارة قاعدة بيانات، بيد أن هناك العديد من التطبيقات، بما في ذلك تلك المتعلقة بالإدارة، التي يجد مهندس بنيان النظام نفسه مضطراً لوضع نموذج بيانات مصمم خصيصاً لملاءمة المسألة المطروحة. من هنا فإن الإحاطة الجيدة بنماذج البيانات الأكثر انتشاراً أمر مفيد [١٥]. فهندسة البيانات بعد بالغ الأهمية من أبعاد هندسة البرمجيات.

د - نماذج التتابع: تقوم نماذج التتابع بوصف:

الترتيب الذي ينبغي تنفيذ العمليات وفقه.

الأحداث التي يُحتمل أن تخل بتتابع العمليات.

سنقوم فيما يلي بعرض بعض المفاهيم الأساسية الخاصة بالتتابع بشكل موجز وفق العناوين التالية: الإجراءات أو السيرورات، التتابع التسلسلي ، التتابع غير التسلسلي مع التزامن، والمداولات، والتشغيل الذاتي، والواجهات.

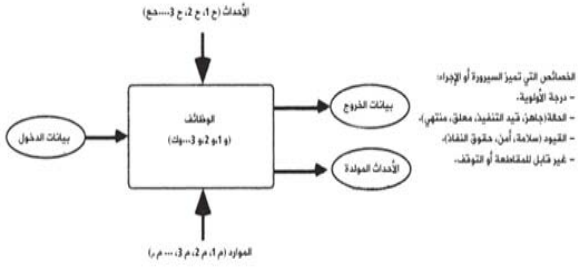
مفهوم الإجراء أو السيرورة- هو مجموعة من العمليات المعرفة بدقة، والتي تستوجب عدداً من «الموارد» حتى يتم تنفيذها. لكل إجراء اسم خاص به يميزه. وقد تتباين الموارد اللازمة لإجراء ما: من حيث البيانات والذاكرة وقدرة وحدة المعالجة المركزية، و قنوات الدخول-الخروج، ومدة الزمن الحقيقي، سيرورة أو إجراء آخر، إلخ...

قد تكون الموارد مرتبطة بشكل ثابت بسيرورة أو بإجراء ما، كما قد يتم الحصول على هذه الموارد بشكل ديناميكي نظراً لاشتراك عدة عمليات أخرى فيها. وحين لا يتوافر أحد الموارد، يتم تعليق السيرورة، علماً بأنه لا يمكن استكماله حتى يتاح المورد مجدداً.

ثمة نوعان مختلفان من التتابع ينبغي اعتبارهما أي:

- تتابع العمليات التسلسلي والذي يصف ترتيب تنفيذ الوظائف.
- تزامن عمليات النفاذ إلى مختلف الموارد.

نستطيع من هنا صياغة مخطط السياق كما يلي:



الخصائص التي تميز السيرورة أو الإجراء:

-درجة الأولوية.

-الحالة (جاهز، قيد التنفيذ، معلق، منتهي).

- القيود (سلامة، أمن، حقوق النفاذ).

-غير قابل للمقاطعة أو التوقف.

التتابع التسلسلي- يتم وصف تتابع الوظائف بمساعدة أساسيات البرمجة البنيوية والتي تُكّون البنية الأساسية للغة التصميم (والتي تعرف بإيه دي إل ADL، لغة وصف المعمارية أو البنى). وفيما يلي الأوامر الأساسية للغة من هذا النوع:

-الحلقات

-المعاملات Procedures (أو الروتينات الفرعية أو الوظائف)

- التحقق من السلامة

-التواصل عن طريق قنوات التواصل

ينبغي أن يكون لدى لغة وصف البرنامج (PDL) القدرة على التوسع من خلال آليات توليد وحدات الماكرو، كما ينبغي اختيار قدرتها التعبيرية وخصائصها البيانية وفق طبيعة البرنامج الحاسوبي المراد تنفيذه، ولغة

البرمجة الرئيسة المستعملة.

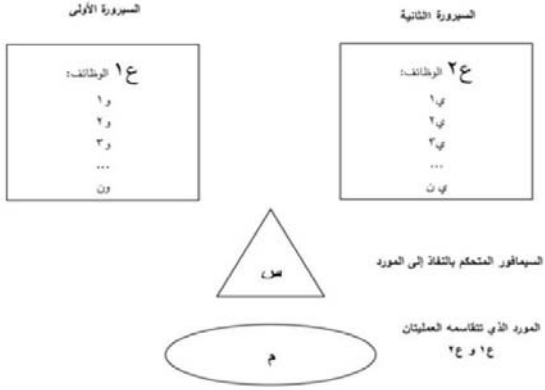
هـذا وتتيح لغة وصـف البرنامج، بمسـاعدة نموذج البيانات، وصـف أنـواع التجريد، والتي تنطوي على ربط محـدد لبنى البيانات مع العمليات (مماثل لبنية المجموعة في الرياضـيات). ويعد هذا التمثيل أسـاس طرق البرمجة "غرضية التوجه".

جدير بالذكر أن وصـف النظام بواسـطة لغة وصف البنى (ADL) يعد جانباً هاماً من جوانب التصميم المفصل.

التزامن- تتم مزامنة السـيرورة أو الاجراء بمسـاعدة أسس التزامن البدائية التي تسـمح بـإدارة علاقات السـيرورة ببيئتهـا ومحيطها. وتعد هذه الإدارة ذات دور محوري بصـفة خاصة في هندسة النُظُم، حيث تسود البرامج التي من نوع برمج___ب. وتتحقق المزامنة بواسـطة كيانات بالغة البسـاطة تُعـرف بالسـيمافور أو التومئـة (راجع إي. ديكسـترا، في مقاله المحتوي على بذور التطور في المستقبل(E. Dijikstra. Cooperating sequential processes).

فلنعرض مثالين لإظهار أهمية التومئة:

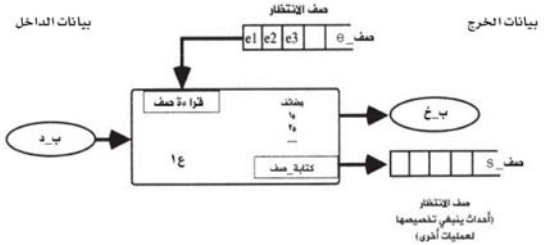
آ- حال تقاسم مورد ما:



للنفـاذ إلى المورد م، تطلب السـيرورة ع١ ذلك من سـيمافور النفاذ، ففي حال كان هذا الأخير "أخضـراً"، حازت السـيرورة ع١ بشـكل مؤقت علـى المورد، فيصـبح السـيمافور "أحمراً". حين لا يعـود ل ع١ حاجة من م، تقوم هذه السـيرورة بتحرير المورد، وتحويل س إلى اللون "الأخضـر"، فيصـبح المورد مجدداً متاحاً لسـيرورات أخرى. ويتم كل ذلك على أساس كـون م في حيازة ع١ أو ع٢ بشـكل متناوب. في حال أسـاءت السـيرورة ع١ إدارة السـيمافور، بتركه في اللون الأحمر على سـبيل المثال، يختفي المورد مـن النظـام لأن النفاذ إليه لم يعـد متاحاً، بما في ذلك مـرات أخرى من استخدام ع١.

في حـال تم النفـاذ لعدة مـوارد م١، م٢، ... في آن واحد من قبل عدة سـيرورات ع١، ع٢،...، يتبع نظام إقفال السـيمافور المقابل س١، س٢، ... اتفاقـاً مـا، وإلا وجدنا أنفسـنا في مأزق تحـوز فيه ع١ علـى م١، وع٢ على م٢، وتطالـب ع١ بالمـورد م٢ المأخـوذ مـن قبل، بينما تطلب ع٢ الحصـول علـى م١... حتـى تعـاق جميع السـيرورات. وحـدوث مثل هـذا الخطأ في برامـج برمجـــب أمر ينطوي على مخاطرة تؤذن بكارثة. لذا فلا بد من الحيلولة دون حدوث مثل هذا الخطأ لدى تصنيع البرنامج.

ب- حـال الأحداث: تقع الأحداث ذات الأهمية بالنسـبة لسـيرورة أو اجراء ما بشـكل عام وفق صف أو طابور انتظار مرتبط بالسيرورة نفسها. إذ أن بوسـع السيرورة تنصيب أحداث عن طريق صف انتظار آخر. وفيما يلي رسم توضيحي لهذا المبدأ:



حتى تتمكن ع١ من مراجعة صف الانتظار الخاص بها، ينبغي عليها تنفيذ وظيفة خاصة بشكل منتظم تسمح بمراجعة صف الانتظار. وتتوقف هذه المراجعة على طبيعة الأحداث التي تقع في صف___e. في حال كان ينبغي معالجة الحدث قبل انقضاء فترة معينة، يكون من الضروري تفعيل الوظيفة قراءة___صف قبل انقضاء هذه المدة. في حال ظهر حدث آخر من نفس النوع، ربما يتوجب معالجته مع الحدث الأول في آن واحد: حينئذ تقوم قراءة___صف بمراجعة صف الانتظار بأسره لإعلام ع١ بطبقة كاملة من الأحداث (يجب دراسة التعقيد الخوارزمي الذي تنطوي عليه مراجعة صفوف الانتظار دائماً لأنه يؤثر على أداء البرنامج الحاسوبي بصفة عامة).

في حال وقعت الأحداث بسرعة مفرطة، تأتي ثمة لحظة يتشبع فيها صف الانتظار، فلا يعود قادراً على استقبال المزيد من الأحداث، الأمر الذي يضر بسلامة العمل (فقد معلومات).

أخيراً، هناك بعض الأحداث التي قد تستوجب انقطاعاً فورياً لوظائف ون الجارية، بشكل يثير السيرورة ع١ بشكل لحظي (هذا حال الوقت الحقيقي).

ثمة برامج خاصة تقوم بإدارة الأحداث وصفوف الانتظار ذات الصلة

بها، تسمى بمراقب الطابور، وهي برامج بالغة الارتباط بالبنية المعمارية الخاصة بالمادة و/أو نظام التشغيل الكامن. وثمة طيف واسع من هذه البرامج الجاهزة للشراء، علماً بأنه ينبغي اختيارها وفق خصائص البيئة التي ينبغي للبرنامج الحاسوبي إدارتها (عدد وتنوع الأحداث، مدى التفاعلية المطلوبة، إلخ...). ذلك أن المراقبين هم برامج من نوع برمجـــب تنطوي صياغتها على صعوبة خاصة.

تظهر هذه الأمثلة القليلة أن السيرورات، والموارد، والسيمافور المتصلة بهذه الموارد، وطوابير انتظار الأحداث، ومراقبي الأحداث، جميعها عناصر محورية في نمذجة بنيان النظام. ويتوقف كل من سلامة و وثوقية تشغيل وأداء النظام البرمجي على الاستخدام الصحيح لهذه البرامج، التي ينبغي طبعاً إدراجها في قاموس البيانات. وتجدر الإشارة إلى أن ترتيب معالجة هذه الكيانات عامل محوري لسلامة ودقة النظام. وينبغي أن تكون هذه الكيانات بالنسبة لبعض النظم بالغة الحساسية موضع نمذجة كمية بهدف حساب أبعاد البرنامج الحاسوبي (طول صفوف أو طوابير الانتظار، الموارد الاستباقية المخصصة بشكل ثابت للعملية، إلخ...) وضمان صفة الحتمية.

المداولات: هي نوع خاص من السيرورات الشائع استخدامها في نظم المعلومات التي تعالج قواعد بيانات هامة، وهي ما يُعرف بالسيرورات الخفيفة أو «الخيوط» أو سلسلة التعليمات في لغة يونيكس.

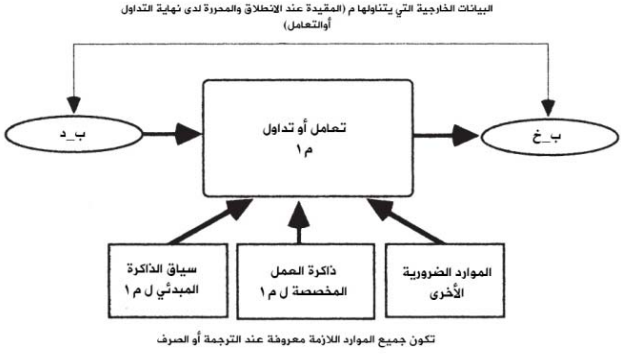
تنطوي السيرورة المداولاتية على برنامج يتسم بالخصائص الأربعة التالية:

- اللاتجزيئية أو الذرية: سلسلة الأعمال التي تنجزها المداولات لا تتجزأ، فإما أن يُجرى تعديل البيانات المعالجة من قبل العملية بالكامل، وإما ألا يجرى أبداً. فلا توجد حلول وسطية، وهذه هي القاعدة العامة لمفهوم التعليمات غير القابلة للتجزئة.

- الاتساق: إن انتهى تعامل ما بشكل طبيعي، عادت قاعدة البيانات إلى حالة تناسق، وينبغي بصفة خاصة تلبية متطلبات شروط السلامة وعلاقات الارتباط الوظيفية.
- العزل: تحجب الأحداث الداخلية الخاصة بتعامل ما عن المداولات الأخرى التي يمكن تنفيذها بالتزامن، إذ لا تعتمد المداولات إلا على ذاتها.

الاستدامة: أثر مداولة ما (م) هو أثر نهائي، بغض النظر عما يحدث بعد تنفيذ (م).

وفيما يلي رسم توضيحي لمبدأ المداولات.



هذا ويتم تنفيذ المداولات بواسطة مراقب أو مرقاب خاص يُعرف ببرنامج التحكم بالمداولات (مراقب المداولات) يقوم بتنظيم بيئة التعامل بحيث تتحقق الخصائص الأربعة (اللاتجزيئية، الاتساق، العزل، والاستدامة) مهما حدث. وتتولى هذه البرامج بيئة الاتصالات برمتها (أي شبكة مواقع العمل)، فضلاً عن النفاذ إلى قواعد البيانات المختلفة بصفتها موارد. من هنا يتضح أن برمجة المداولات عملية بسيطة، الأمر

الذي يبرر الاهتمام البالـغ بها. كما تقوم برامج التحكم بالمداولات بإدارة المداولات الموزعة، فهي تمثل آلية أساسـية في نمـوذج العميل-الخادم (أو مخدم – زبون).

آلات الحـالات محـدودة العدد أو ذاتية التشـغيل (أتومـات): يقودنا مفهـوم الإجـراء أو السـيرورة بشـكل لا إرادي إلى التفكير في الحاسـوب المثـالي، الـذي لا تَعـرفُ ذاكرته مـن أنواع البيانات سـوى تلـك التي عند الدخـول والخروج، وتكـون فيه التعليمـات أو الأوامر مؤلفـة من مجموعة الوظائـف ف١، ف٢، ... ف ن. ويكـون تتابـع العمليـات وفق آلية تسلسـل تراعي محيط السـيرورة (يتم النفاذ إلى المـوارد والأحداث عبر «قنوات» منطقية)، وحالة نتيجة تنفيذ كل وظيفة من الوظائف ف ي .

يمكن تنفيذ هذا السـيناريو المثالي بشـكل منهجي، بحيث يتم تجريد بعض «الآلات» فيه، المثيرة للاهتمام من الناحية الرياضـية، التي سـتقوم بتمثيـل السـيرورات وسـلوكيات السـيرورات شـكلياً. وتعد هـذه الآلات أو الأجهزة «المجردة» من أدوات نمذجة مصطلحات بيئة السيرورة، والخاصة بالتحكم بتطور نمو البرنامج الحاسوبي.

هذا ويتطلب تعريف الآلات المجردة المثيرة للاهتمام دراسـة مفصـلة لمختلـف السـيروات، وإحاطة وافية بالسـلوكيات المرغوبة للنظام، فضـلاً بالطبع عن معرفة نظرية هذه الآلات.

ولهذا النهج فوائد عديدة أهمها:

- يمكـن تفكيك الوظائف في إلى مجموعة من الوظائف الأكثر اختزالاً التـي يمكن أن تقوم بدور التعليمات أو الأوامر، التي كثيراً ما تسـمى بالأعمـال. ويمكن أن يكون حجم هذه الأعمال من الصـغر بما يكفي لفهمهـا واختبارهـا، والحرص على اتسـامها بالخصـائص الأربعة (اللاتجزيئية، الاتسـاق، العزل، الاسـتدامة). وسـيتم استخدامها بشكل متزايد، مما يؤدي إلى درجة من الوثوقية تزداد بمرور الوقت.
- قنوات النفاذ المنطقية لمختلف الموارد هي كذلك بروتوكولات تواصـل

بالبيئـة، ويمكن تكييف مواصـفات البروتوكول لطبيعة المورد. ويمكن تحديد عدد البروتوكولات والتحكم بشكل تام بتعقيدها.

- يتحدد تسلسـل الأعمال وفق حالة عدد من «السـجلات» التي تحتوي المعلومـات اللازمة للتسلسـل (وهذا هو، بشـكل عـام، مفهوم عداد البرنامـج، وسـجل المقاطعـة، واسـم الحالـة... الذي يوجـد في كل حاسوب).
- يمكن أن تتسـم الذاكرة اللازمة لمختلف العمليات ببنية مخصصـة (adhoc) ، يتـم اختيارهـا وفـق طبيعـة المسـألة، لتكـون البنية الوحيـدة التـي تعرفهـا الآلـة مثـل: قوائم، مكدس، بنية شـجرية، المخطـط الخالي من الـدورة، المصـفوفة، إلخ... تختصـ الآلة إذن بهيكل محدد أو بنية محددة، ما يسـهل عملية الاختبار والتشـخيص حال حدوث عطل ما.

هـذه الآلات المثالية هي الآلات ذات الحالات محدودة العدد (Finite State Machine). ولا مجـال هنـا لعرض نظرية هـذه الآلات، بيد أن الدور الذي تضطلع به هو من الأهمية بما يوجب عرض خطوطها العريضة بشـكل موجز. وتتمتع هذه الآلات بسـمتين بالغتي الأهمية في سياق هندسة البرمجيات هما:

- تسـتند هذه الآلات إلى نظرية رياضـية دقيقة [١٣] تسـمح بتعريف عمليات مجدية جداً، مثل تكافؤ وتشاكل آلتين (وهذا مفهوم جوهري لتمييـز مواطـن التجريـد والوصـول إلى التعميـم)، وإنشـاء الآلات المركبة (تتضافر عدة آلات بسيطة لتكوين آلة أكثر قدرة ذات مستوى مماثل أو أعلى مـن الوثوقية)، وتحديد الأولويات أو التدريج الهرمي (تضـمين مختلف طبقات الآلات التي نحدد لها ميزات خاصة، بعض الآلات قادرة على تشييد وإطلاق آلات ذات ميزات أقل).
- يمكن تمثيل هذه الآلات بمنتهى السهولة، إما بواسطة لغات البرمجية الكلاسـيكية [١٤]، أو بواسـطة الجداول التي يتم تفسيرها على نحو

مخصص (adhoc) . فقد تكون "مترجمة إلى لغة الآلة"، وهي خاصية هامة جداً لمعالجة الخصائص المتشعبة التي تتسم بها النظم البرمجية. ويمكن أن يسفر تفعيلها عن إيجاد لغة شكلية (تعقب) هي بمثابة توقيع، الأمر الذي يسهل بشكل كبير معالجة المشكلات التي جرى تناولها في الفصل السابع الفقرة ٦. ويمكن التحكم بشكل كامل بالموارد اللازمة وفق تكرار طلبها.

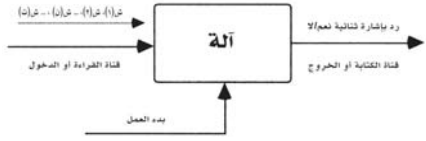
تجدر الإشارة هنا إلى أن البرمجيات الأكثر وثوقية يتم تصنيعها جميعاً بواسطة آلات منطقية من هذا النوع، فسهولة تنفيذها يجعل منها عنصراً جوهرياً في التحكم بتعقيد البرنامج الحاسوبي.

وفيما يلي مبدأ هذه الآلات:

إثر سلسلة لحظات ل١، ل٢، ...ل ن، بينها مهلة ما (ل ن – ل ن-١)، تتلقى الآلة إشارات ش(١)، ش(٢)، ش(٣)... ش(ن).. وتصدر ردود ر(١)، ر(٢)، ...ر(ن).

تباشر الآلة العمل عند اللحظة ل٠. فلنعرض ثلاثة أمثلة:

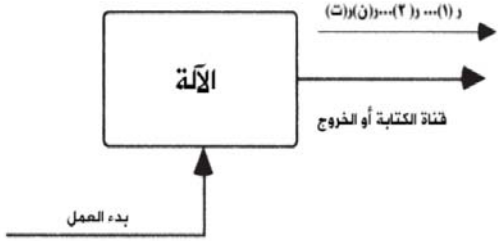
– آلات الاستقبال أو التسلم: تكون الإشارات الواردة عبارة عن تركيب من الرموز المنبثقة عن مجموعة تمثل رموز أبجدية الدخول الخاصة بالآلة:



فإذا كانت سلسلة الإشارات صحيحة، كان الرد «نعم»، أما إن كانت السلسلة خاطئة، كان الرد «لا». فالآلة «حتمية» أي أن لكل سلسلة إشارات دخل دوماً الرد نفسه. وتشكل مجموعة الإشارات التي تستقبلها الآلة لغة دخول الآلة، ونجد هذا النوع من الآلات في محيط النظام: التحقق من معلومة ما، أو بروتوكول تواصل، أو ترميز المعلومات...

– آلات الإرسال أو الإصدار: آلة من هذا النوع لا تكون «حتمية»، وإلا

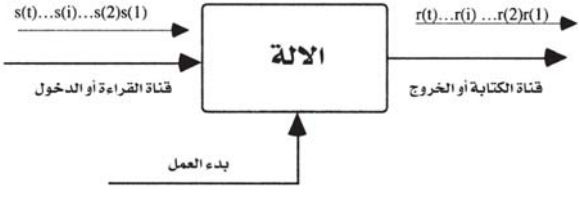
فتكـون بـلا أهمية. بيد أن هذه اللاحتمية تخضـع لقاعـدة تقييدية: فسلسـلة الرموز التي تصـدرها الآلة تنتمي لمجموعة محددة تشـكل رموز الأبجدية الصادرة أو أبجدية الخروج من الآلة:



وتشكل سلسلة الإجابات المكنة رموز الأبجدية الصادرة عن الآلة.

– آلات الأعمـال أو المبدلات: هي الآلات الأكثر إثارة للاهتمام والأكثر اسـتخداماً، فهي تعمم الآلتين التي سـبق عرضـهما. فهي تتيح على سبيل المثـال تحقيـق تطابـق مـزدوج أحـادي الاتجـاه بـين «لغتين». وتسـتخدم «ترجمـات» مختلف طبقات بروتوكولات المنظمة الدوليـة للتقييس ISO من واحـدة إلى الاخـرى أو إلى بروتوكـولات أخرى، هذا النوع مـن الآلات. إذ يتطلـب كل نظام تعليمات فيـه بعض التعقيد ولا تكون فيـه رموز الأبجدية ملائمة للمُشـغِّل البشـري، هذا النوع من "التبديل"، وكذلك هو شـأن أية

$s(t) \in S$ و $r(t) \in R$ مع $t = 1.2. \ldots$



واجهـة بين جهازيـن لا يحملان نفس اللغة يقـوم أحدهما بتحريك الآخر. هذه الآلات إذن بالغة الأهمية:

يُفترض أن يكون لدى الآلـة عدد معين من «الحـالات الداخلية» التي تنتمي لمجموعة محددة خاصـة (Q). ويمكن أن تتغـير حالة الآلة عند كل لحظة $t_0, t_1, \ldots$ أي... وفق الإشـارات التي تُرسـل إليهـا. ثمة دالة أو تابع انتقال الحالة (f) إذن كما يلي:

$$q(t+1)=f(q(t))\ S((t+1)) \quad \text{مع} \quad t\geq 0$$

تسـمح بتحديد الحالة الجديدة لدى وصـول الرمـز $S(t+1)$. ويكون نطاق تعريف الدالة (f) كما يلي: $f : Q\times S \rightarrow Q$

كذلك توجد دالة أو وظيفة خروج كما يلي:

$$r\ (t+1) = g(q(t)\ ,\ s\ (t+1))$$

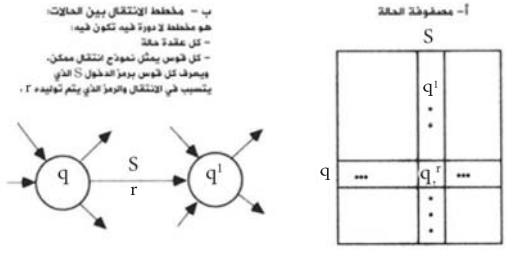
حيث يكون نطاق التعريف: $g : Q\times S \rightarrow R$

يتم إذن تعريف الآلة كما يلي:

$$M= (Q,S,R,f,g,\ qinitial).$$

ويتكـون الجـزء الرئيس من الآلة من جدول الـدوال f.g. ونجد على الصعيد العملي نوعين من تمثيل هذه الوظائف:

أ) مصفوفة الحالة ب) مخطط الانتقال بين الحالات:



هو مخطط لا دورة فيه تكون فيه:

- كل عقدة حالة
- كل قوس يمثل نموذج انتقال ممكن.

ويعَّـرف كل قوس برمز الدخول S الـذي يتسـبب في الانتقال والرمز الذي يتم توليده r.

في التمثيل الموضـح أعلاه، يرتبط الرمز r بحالتين (q.q') وهو ما نسـميه بالانتقال. ويكون من الأسـهل أحياناً ربط r بالحالة التي انتقلنا إليها للتو. هنا تكون دالة الخروج h أكثر بساطة ويكون نطاقها :

h: Q-> R

ينتشـر اسـتخدام هذا النوع من التمثيل بشكل كبير في ترجمة اللغات عالية المسـتوى إلـى لغات الآلة. وفي جميـع طرق التمثيل، تمثل السلسـلة، r(١)r(٢)...r(ي)...r(ت).. سلسـلة أعمـال ينبغـي تنفيذهـا تلبيـةً للتعليمات S التي تم إشعار الآلة بها.

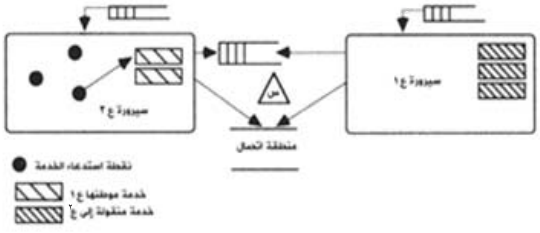
وثمة ارتباط شديد بين درجة تعقيد النظام وعدد وتنوع الآلات اللازمة لوصفه. وحتى الآن أي عند هذه المرحلة، لم نضع أي افتراض بشأن التمثيل المادي لهذه الآلات التي يمكن ترجمتها إلى لغة الآلة أو تفسـيرها، بل حتى ترميزها بشكل مايكرو*.

هـ) الواجهـات البينية (واجهات التوصـيل أو الربط): ثمة حاجـة لواجهة بينية لـدى الرجوع لإحدى الوظائـف المتوافرة في البرنامج الحاسـوبي من مواطن مختلفة في النظام، أو حينما تنطوي وظيفة ما على «مكون» ذي أهمية خاصـة في البرنامج (ترشـيح، غير مستقر...). وكثيراً ما يُشار إلى مثل هذه الوظيفة «بالخدمة» أو «الوظيفة البدائية».

فالواجهة إذن هي قاعدة تواصـل بالغة الدقة تسـمح باسـتدعاء هذه «الخدمـة»؛ التـي تقـوم بدورهـا بالتحقق من أنـه قد تم اسـتدعاؤها وفق القواعد.

* ترميز مايكرو = microcodees / تفسيرها = interpretees وترجمة إلى لغة الآلة = compilees :

وفيما يلي رسم شكل هذه الخدمات:



عندما تكون "الخدمة" محلية، يتم استدعاؤها بشكل عام بواسطة "مكدس أو كومة" وهذا يتطلب وضع قواعد تمرير المتغيرات الوسيطة (قيمةً، مرجعاً... تكون موضحة الخصائص بشكل عام في أدلة استخدام لغات البرمجة). وحتى تتمكن عدة لغات من التواصل مع بعضها البعض، لا بد أن يقوم نظام التشغيل بإدارة هذا "المكدس" الذي لا ينبغي أن يقتصر على هذه اللغة أو تلك.

أما إذا كانت الخدمة متنقلة أو غير محلية، فهي تقوم عندئذ بتنفيذ أجهزة التزامن وآليات مثل Remote Procedure Call نداء الإجراء البعيد، كالتي نجدها في نظام شبكة الملفات في يونيكس NFS في نموذج المستخدم-الخادم. وربما يستغرق النفاذ إلى الخدمة قدراً هاماً من الوقت إذ ينطوي على عملية دخول-خروج.

لا بد من توجيه اهتمام خاص للواجهات البينية في مرحلة التصميم. وبالرغم من قربها من البرمجة، إلا أنه ينبغي تحديدها قبيل مرحلة البرمجة. إذ ينبغي أن يكون بالإمكان التحقق من صحتها بشكل مستقل

ومنفصل عن وحدات النداء. كما ينبغي فهرستها على نحو دقيق في قاموس البيانات. فالواجهات هي بمثابة لبنة الأساس في بنيان النظام. ويتطلب تسلسل بعض الواجهات وصفاً بمساعدة آلة ذاتية التشغيل FSM. وينبغي أن يتم أي تطوير للواجهة على نحو متساوق* أو متوافق مع بعضها بعضاً (وهذا تعميم بالمعنى الدقيق للكلمة) بشكل يتم الحفاظ على ما تم برمجته حتى هذه المرحلة.

ويتوقف النفاذ إلى خدمة أو أخرى على تنظيم النظام، وحقوق النفاذ الفردي الخاص بالوظيفة التي تقوم بالنداء، و الحقوق العامة على صعيد الخدمة. الجدير بالذكر أن إدارة هذا الحيز من الأسماء مكون أساسي في أي نظام برمجي ذي حجم معين، فهو يشكل الآلية المركزية الخاصة بعمليات أمن/سرية المعلومات التي يحفظها النظام.

ومن نماذج اللغات التي أنشئت على أساس مفهوم الآلة ذاتية التشغيل FSM:

User interface terminal specification and description language [١٣،١] (لغة المواصفات والوصف الخاصة بواجهة المستخدم الطرفية SDL)، واللغة البيانية الخاصة بمخططات انتقالية الحالة، التي تم دمجها في لغة النمذجة الموحدة الخاصة بمجموعة إدارة الكيانات (UML of OMG).

٤- تعزيز أو أَمْثَلَةُ النماذج إلى أفضل حد ممكن. قد تُغَيِّر صيغة النموذج الأولى طبيعة الاعتبارات التي قد نضعها للنموذج، إذ بوسعنا حينئذ اتخاذ أحد مسارين إضافيين:

- ينطوي أحدهما على تمثيل ووصف جميع كيانات وسلوكيات العالم الحقيقي كما تتضح بالملاحظة على أدق نحو ممكن.
- أما المسار الآخر فينطوي على العمل على التمثيل ذاته بهدف التوصل

* متساوق compatible :

للصـيغة الأفضل من الناحية الاقتصـادية وفق الشروط العامة التي تحكم النظام البرمجي.

ولتعزيز النموذج قدر الإمكان أو لأمثلته، ينبغي:

- التقليل من تنوع الكيانات.
- البحث عن مواطن تناظر وتضافر البنى؛
- عزل ما لا يشترك في شيء مع آخر ويتسجيب لإشكاليات محددة؛
- تمكين الصـيغة وتعزيز قدرتها، بمعنى عدم السـعي وراء أكثر صيغة مدمجة، مع تجنب إشباع بنى البيانات والتسلسل.

بهـذه الخطوط العريضـة الأولية، يصـبح بالإمكان تناول المعضـلات الشائعة المتمثلة في:

- سلامة التشغيل
- الأمن
- أوجه الأداء.

ولا يمكـن اسـتيعاب هـذه الجوانـب إلا بالاسـتعانة بتمثيـل النموذج وبالعودة على الأرجح إلى الصياغة المبدئية للنموذج.

في هـذه المرحلة فقط يصـبح بالإمـكان البدء في الدراسـة التحليلية المفصلة التي تسبق عملية البرمجة بشكل مباشر.

أ- التقليـل من تنوع الكيانات: لا يتم تمثيـل الواقع إلا من خلال بعض الهياكل «الخاصة» التي ندرك قواعد معالجتها:

- القوائم، والملفات، والمكدس والهياكل الشجرية، والبيانات الحلقية، البيانات اللاحلقية... فيما يتعلق بالجزء الثابت.
- مجموعات شتى من الآلات المؤتمتة فيما يتعلق بالجزء الديناميكي.

فمـن شـأن ذلـك تسـهيل عملية تمييـز مواطـن التماثـل ومجموعات الوظائف، إلخ...

يمكـن القول إن الأمـر بمثابة تطبيق للقاعـدة المنطقية القديمة لموس

أوكام أو سـكين "أوكام"، والتي تنطوي على إزالة كل الكيانات الوسيطة التي لا يتضح ارتباطها بالحقيقة الواقعية بشكل واضح (أي عدم مضاعفة المجموعات).

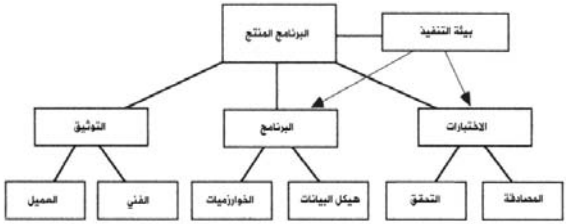
ب - مواطـن التناظـر والتشـابك. وسـط مختلـف السـيرورات أو الإجراءات، يمكن تمييز وظائف أو مجموعات من الوظائف المتماثلة. وتعد الصياغة على شـكل آلات ذات الحالات المحدودة وسيلة فعالة للكشف عن مواطن التماثل. إذ يمكن من خلال التعميم فرض التشـابه (وهو أسـلوب كلاسـيكي جـداً في الرياضـيات ومـن أهم نتائـج الطريقة الموضـوعاتية (طريقة المسلمات).

لا شـك في أن وجود ملاحظات مدونة جيدة، يشـكل ميزة لجميع هذه العمليات التي تتطلب فهماً معمقاً بدلالات النظام وأطوار ارتقائه المحتملة، وهذا ليس فقط للتواصل، إنما للتفكير أيضاً، علماً بأن الملاحظة المدونة لا تغني أبداً عن الفكرة الواضحة.

الفصل السادس

البرمجة والاختبارات

تمثل البرمجة النشـاط الرئيس والأكثر شهرة في دورة تطوير النظام البرمجي، فهي تجسـد «روح» النظام. إلا أن هذه العملية لا يمكن اختزالها بوجود البرنامج وحده، لأنها تتضمن عدداً من الأنشطة الأخرى الضرورية لديمومـة البرنامج. فالحديث إذن هو في سـياق «البرنامج المُنْتَجْ» عوضـاً عن «البرنامج»، لدى اجتماع العناصر التالية:



فالبرنامج من دون توثيق واختبارات لا يكون كياناً صناعياً وتكون مدة حياته محدودة جداً.

أولا : البرمجة

١-نموذج البرمجة.

آ- البرنامج = الخوارزميات + هياكل أو بنى البيانات.

يعد نشاط البرمجة نتيجة مباشرة لبنية أجهزة الحاسوب وفق تصور جون فـون نيومان (John von Neumann) منـذ حقبة الأربعينات. ومن الأهمية بمكان هنا قراءة النصين التأسيسيين في هذا السياق:

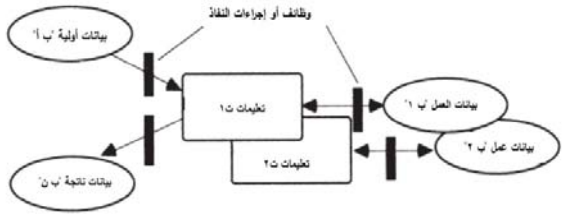
"نقاش مبدئـي حول التصـميم المنطقـي لأداة حوسـبة الكترونية" (Preliminary discussion of the logical design of"

an electronic computing instrument) و قضـايا التخطيط والترميـز لأداة حوسـبة الكترونيـة" (Planning and coding problems for an electronic computing instrument)، والتي تعود إلى عامـي ١٩٤٦-١٩٤٧ (راجع "الأعمال الكاملة"، المجلد ٥، Œuvres complètes, vol.٥). ففي نموذج نيومان، تشترك البيانات والتعليمـات، والتي يشـكل اجتماعها البرنامج، في ذاكـرة واحدة ما يُمَكِّن البرنامج من صـنع برنامج آخر. وهذه السـمة الأخيرة هي سـمة محورية بكل معنى الكلمة.

فالبرمجـة هي تنسـيق البيانـات والتعليمـات معاً بهدف حل مسـألة ما. ويكون الهدف موصـفاً بواسطة سلسـلة من التعليمات التي -إن نفذت علـى البيانات- قامت بتغيير هذه الأخيرة بشـكل تدريجي إلى حين تحقيق الهدف. من هنا فإن البرنامج هو في الأسـاس اسـتنتاج منطقي تكون فيه البيانات هي الأطراف، والقواعد المنطقية هي تعليمات الجهاز.

وبمجـرد بلـوغ البرنامج حجمـاً معيناً، ينبغـي تنظيم هـذه البيانات والتعليمـات بمنتهـى الدقـة حتـى تبقـى واضـحة ومفهومـة. ومـن مهام البرمجة، ضمان سمة الوضوح هذه من خلال تقديم آليات لترتيب وهيكلة هذه البيانات والتعليمات.

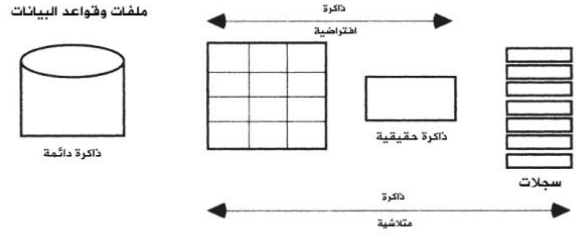
ويمثل الرسـم التوضـيحي التالي النمط الأساسـي لنشـاط البرمجة وسيرها بمرور الوقت:



وتأتي عملية صنع البرنامج في المراحل التالية:

- المرحلة ١ (م١): تكون البيانات الأولية والبيانات الناتجة بمثابة عناصر مسبقة، ويكون قد تم تحديد الخطوط الرئيسية للخوارزميات عند مرحلة التصميم، أو أخذت من نسخ سابقة من البرنامج، الأمر الذي يؤمن قدراً جيداً من استقرار هذه البيانات الأساسية.
- المرحلة ٢ (م٢): تتوقف بيانات العمل ب١، وثيقة الارتباط بالتعليمات ت١، على الخوارزمية التي يتم اختيارها لتحويل البيانات الأساسية إلى نتائج.
- المرحلة ٣ (م٣): يُعَدّ البرنامج الجزئي المتعلق بكلاً من ب أ، ب ن، ت١، ب أ، بمثابة البيانات الأولية بالنسبة للمراقب النظري الذي يقوم بإدارة الأحداث الكامنة المرتبطة بكل من ب أ، وب ن، وت١.، وب ١. ويسفر هذا التحليل عن بيانات ب٢ وتعليمات ت٢ مكملة تقوم بتحقيق المراقب النظري المرتبط بالبرنامج.

ويبقى التسلسل الهرمي للذاكرات التي تقوم بدور الوعاء الحاوي للبيانات، واضحاً بصفة عامة في البرمجة، الأمر الذي يقتضي وجود وظائف أو إجراءات نفاذ خاصة. ويمكن بشكل مبسط إلى حد ما عرض هذا التسلسل الهرمي كما يلي:



الذاكرة الافتراضية وسيلة أُمدت بها أنظمة التشغيل منذ أوائل حقبة السبعينات، وساهمت بشكل كبير في تبسيط عملية البرمجة من خلال تزويد المبرمج بوهم وجود ذاكرة حقيقية كبيرة الحجم. فهي وسيلة بارعة تنطوي على نقل شفرة من نوع (م) إلى شفرة من نوع (ث) إذ كان المبرمج في ذلك الحين هو الذي يدير الذاكرة التي كانت تعد نادرة نسبياً. إلا أنه لا يمكن إخفاء هذه الآليات الضمنية تماماً لأنها تتسبب أحياناً في تدهور أداء البرنامج من خلال جعل سلوكه غير حتمي (الأمر الذي يعد معوقاً وعقبة في حال الزمن الحقيقي). وتصبح السجلات خفية بمجرد استخدام لغة برمجة رفيعة المستوى، الأمر الذي يعد طريقة أخرى للانتقال من برنامج من نوع (م) إلى برنامج من نوع (ث). الجدير بالذكر أن المترجم إلى لغة الآلة يتولى كل ما يتعلق بتخصيص الموارد، وهو ما يمكننا من اختزال عدد التعليمات الأساسية إلى حد أدنى.

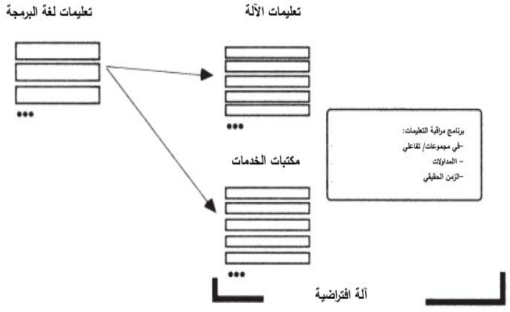
تمثل المجموعة المكونة من: (الذاكرة الافتراضية + الذاكرة الحقيقية + السجلات) حيز العنونة للبرنامج، إذ يمكن الرجوع إلى مكونات البرنامج عن طريق الاسم الذي اختاره المبرمج لكل منها، وذلك دون التداخل مع عنونة برامج أخرى. ومن الوظائف الأساسية التي تقوم بها

مجموعة المترجم الى لغة الآلة، ومحرر الترابط ومُحَمِّلُ البرنامج إدارة حيز الأسماء هذا على نحو سليم.

توجد جميع تعليمات البرنامج في الذاكرة الافتراضية، ويمكن الإشارة إليها بواسطة الاسم الذي سيرتبط به العنوان المادي. إلا أن الأمر يختلف بالنسبة للبيانات الدائمة التي يتعذر إضافتها إلى حيز عنونة البرنامج، نظراً لحجمها الكبير واحتمال اشتراك برامج أخرى في استخدامها. ولا تُعرف هذه البيانات إلى بواسطة اسمها الرمزي، ولا يمكن العثور عليها إلا بواسطة وظائف نفاذ التي توفرها نظم إدارة قواعد البيانات ونظم الملفات. وفي حال لم تف هذه الوظائف بمتطلبات مهندس بنيان النظام أو المبرمج لأسباب تتعلق بالأداء على سبيل المثال، فإن من الممكن استبدالها بوظائف أنسب، وعندئذ لا يتم استخدام سوى الوظائف الأساسية الخاصة بنظام إدارة السجلات أو بالذاكرة الافتراضية للحصول على حيز ذاكرة في القرص. إلا أنه ينبغي التفكير ملياً في هذا الخيار قبل اعتماده، لأننا في أفضل الأحوال نكون قد استبدلنا برنامجاً من نوع بسيط(ث) بعدد كبير من شفرات أو رموز برنامج (م). وفي حال وجب في وقت لاحق اشتراك برامج أخرى في هذه البيانات، أصبح البرنامج من نوع (ب): واجتمعت بذلك كافة أسباب الحيد عن الحدود الزمنية/التكلفة المرسومة.

كان تنظيم التعليمات موضع جهود حثيثة منذ بدايات الحواسيب الأولى (أول فورتران سنة ١٩٥٤)، إذ كان الهدف هو إخفاء تفاصيل آليات العتاد قدر المستطاع، والتي تكون بالغة التعقيد وتعسفية في الغالب حينما لا نكون على اطلاع بالقيود الخاصة بالعتاد. وفي بنية الآلات التي تُعرف بتقنية حاسب مجموعة التعليمات المعقدة CISC (أي معظم الأجهزة الحاسوبية الشائعة، مثل معالجات شركة إنتل الدقيقة)، كثيراً ما تنطوي الآلة على ما يناهز ال٣٠٠ تعليمات. من هنا فإن اختزال هذا العدد إلى بضع عشرات هو بمثابة اختزال للأفكار وعملية تبسيط عظيمة بالنسبة للمبرمجين، ما يمثل دوماً مصدر مكاسب جمة في سياق الإنتاجية. تقوم

إذن حصة تعليمات لغة البرمجة بتنظيم رؤية الآليات والخدمات الأساسية المتوافرة لتحويل البيانات الأساسية إلى بيانات ناتجة من جهة، كما تقوم من جهة أخرى بتمكين تسلسل العمليات بواسطة مراقب التعليمات الذي يدير النفاذ إلى الموارد. وفيما يلي رسم توضيحي يبين هذا المبدأ:



يتم ترتيب الخدمات في مكتبات يمكن النفاذ إليها في ظروف محددة، ويتم النفاذ إلى هذه الخدمات عن طريق وظائف تنفيذية متصلة بلغات البرمجة، مثل الوظائف الرياضية الخاصة بلغة فورتران، أو ما يعرف ب «Report Writer" أي محرر التقرير الخاص بلغة كوبول.

ويمكن تصنيف برامج مراقبة التعليمات في ثلاث مجموعات كبيرة:

- برامج المراقبة عن طريق المعالجة في مجموعات أو برامج مراقبة اقتسام الزمن، والتي تسمح بمعالجة العمليات على نحو تسلسلي؛
- برامج مراقبة المداولات والذي يتيح تقاسم مئات أو آلاف المستخدمين مكتبة واحدة من البرامج، تعرف بالمداولات، مع ضمان سلامة البيانات وإيهام المستخدم بأنه وحده؛
- برامج مراقبة الزمن الحقيقي التي تسمح بإدارة الزمن الحقيقي للأحداث العشوائية التي تتطلب تنفيذ مهمة على وجه الأولوية،

وانقطاع وإعادة المعالجة.

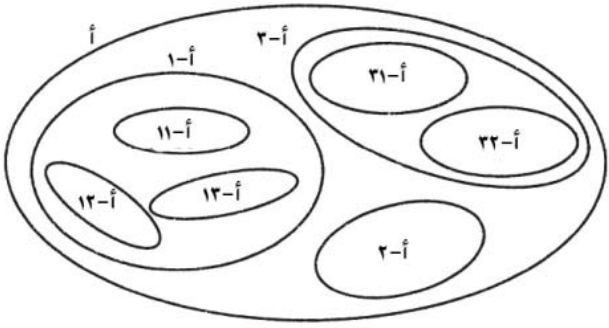
وتمثل هذه المجموعة "الآلة الافتراضية"، التي تعد غاية توليد المترجمات إلى لغة الآلة.

تشكل رؤية هرم الذاكرة وتنظيم التعليمات نموذج البرمجة. ويتوقف هذا النموذج إلى حد كبير على لغة البرمجة، التي تعد مكوناً أساسياً، فيه لكنه بصفة عامة غير كاف للأسف، وتعد معرفة مكتملة قدر الإمكان لهذا النموذج شرطاً لا غنى عنها لكفاءة المبرمج.

من هنا فإن التحديات الأساسية هي في معرفة ما إذا كان النموذج منسقاً ومكتملاً: بمعنى توفر الإجابة، على كل سؤال قد يطرحه المبرمج على نفسه بشأن صحة وسلوك برنامجه، في النموذج فقط لا غير، وإلا اضطر إلى «النزول» إلى مستوى آليات الآلة الافتراضية. ويترتب عندئذ عليه معرفة الآلة الافتراضية إلى جانب قواعد تحول برنامجه في لغة هذه الآلة. وتنطوي مسألة الاتساق على معرفة ما إذا كانت تسفر صيغ متعددة ممكنة للبرنامج عن أوجه سلوك مقبول بغض النظر عن البيئة أو المحيط: وهنا تكمن إشكالية حتمية ودقة النموذج المطروح. وتعد هذه المسألة في حالة نظم الزمن الحقيقي ذات أهمية رئيسة، بل وتشكل عاملاً هاماً في اختيار لغة البرمجة والمراقب.

ب- تقديم بعض الآليات: تجري هيكلة حيز أسماء برنامج ما في مرحلتين:

- المرحلة ١: يكون عالم الأسماء منبسطاً ويمكن النفاذ إلى كل ما فيه من كل قبل، وهو نموذج لغات الجيل الأول فورتران وكوبول.
- المرحلة ٢: مع تعاظم حجم البرنامج وضرورة عمليات الترجمة المنفصلة، يزداد هذا العالم تعقيداً، وتنظم الأسماء في تسلسل هرمي:



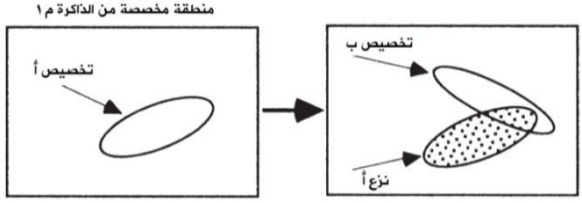
ترث الفقاعة الواحدة أسماء الفقاعات الحاوية لها، بيد أنها لا تعرف الأسماء التي لا توجد في خطها الهرمي. ويمكن لمبرمجي أ١٢ وأ١٣ أن يقوموا بتسمية عناصر البيانات وشفرة البرنامج كما يشاؤون لأنها توجد في تسلسلات هرمية بينة. وكان هذا المبدأ التنظيمي قد اعتُمد للتعليمات الحسابية للغة فورتران، ولبيانات كوبول.

وكانت أول لغة تمثل تناظراً تاماً هي لغة ألغول ٦٠، فقد كانت أول لغة محددة بشكل بالغ الدقة بيد أنها لم تلق رواجاً تجارياً. وسرعان ما لحقت بها لغة بي إل/1 (PL/1) التي ابتكرتها شركة أي بي إم، والتي حققت بعض النجاح، وكانت مصدر إلهام لعدد من اللغات بين ١٩٦٠-١٩٧٠ لا تزال قيد الاستخدام حتى اليوم. والجدير بالذكر أن كل ما نجد من هيكلة في لغات البرمجة الراهنة، مثل أدا وسي، ناجم بشكل مباشر عما كان في ألغول أو بي إل/١ وعلى نحو أفضل في بعض الأحيان.

وكان الابتكار الأخير في سياق لغات البرمجة هو مفهوم "النوع" الذي ظهر لأول مرة في لغة باسكال، وهي لغة برمجة ممتازة أخرى لم تلق قبولاً تجارياً.

ففي اللغات السابقة لباسكال، كانت الذاكرة توصف بواسطة أنواع معرفة بشكل مسبق خاصة بالآلة التابعة (البت، والحرف، والثابت العددي الصحيح الطويل، والثابت الصحيح القصير، والثابت العددي الحقيقي إلخ...). ويتميز هذا الأسلوب بتسهيل عمل المترجم إلى لغة الآلة، بيد أنه يعاني من كونه يخصص نفس التعريف لعدة كيانات متباينة منطقياً. أما النوع في لغة باسكال فيكون بمثابة معادلات للأبعاد تقوم بتعريف الأبعاد المادية، ويسمح النوع بالقيام بالعديد من الاختبارات والارتقاء بدقة دلالات التمثيل.

وفيما يتعلق بتنظيم الذاكرة، فقد انتقلنا من رؤية تتسم بالسكون، رؤية لا تنطوي سوى على قيم غير مركبة وجداول (فورتران، وكوبل التي كانت تنطوي بالإضافة إلى ذلك على بنى بسيطة)، إلى رؤية دينامية بشكل أكبر، كان للغة بي إل/١ أيضاً الدور المفصلي فيها. ففي نموذج بي إل/١، توجد مناطق من الذاكرة يمكن تخصيص أو نزع كيانات منها ذات أحجام متفاوتة.



ونتيجة لهذه الإدارة الدينامية، تصبح الأسماء «متغيرات»، قابلة للتحكم فيها، الأمر الذي يحقق بشكل كامل نموذج فون نيومان، وبخاصة حينما يكون نظام التشغيل يشمل محرر ترابط ديناميكي. فالكائن الموافق هو عنوان في المنطقة المخصصة من الذاكرة، ما ينشئ نوعاً جديداً (في

بـي إل/١: pointer (مؤشـر)، وفي أدا: Access (نفـاذ). لكن إدارة هـذه الكيانات الجديدة التي تـزود النموذج بقوة فائقة، هـي عملية بالغة الحساسـية، فهنـاك احتمـال الاحتفـاظ بمؤشـرات متجهة نحـو مناطق أخليت، الأمر الذي يقوض اتساق البرنامج، إذ أننا نصل إلى الكيان (ب) معتقديـن أننا نصـل إلى الكيان (أ)، وذلك على نحو غير حتمي. وفضـلاً عـن هذه الآليـة الوظيفيـة بالغة الأهمية، سـتكون هناك حاجـة -كما هو الحـال غالباً - لآلية تصـحيحية متطـورة إلى حد ما، للقيـام باختبارات، تمكننا من نزع جميع المؤشـرات الخاصـة بالكيان أ لدى نـزع أ. ومن هذه الآليـات ما لا يمكن الاعتمـاد عليه إلا عندما تجري الآلة الكامنة بنفسـها ببعض هذه الاختبارات، بواسـطة مفاهيم مثل تقسـيم أو تجزئة الذاكرة، وسـجلات أساسـية لا يمكـن أن تحوي سـوى عناوين، إلـخ... وتوجد هذه الآليـات في معظـم الوحدات المركزية الراهنة، وكان أول اسـتخدام لها في نظام مولتكس (Multics).

كانـت ثمة محـاولات عديدة، بالإضـافة إلى الآليات الرئيسـة، لدمج مفاهيـم في لغـات البرمجـة محاذية لنظـام التشـغيل. وتعـد المهام غير المتزامنة والاستثناءات مثالاً على ذلك.

أمـا الاستثنـاءات، فهي أحـداث غير طبيعية بشكل عـام يكشف عنها الجهـاز، بيـد أنـه مـن المثير للاهتمـام استرجاعهـا في البرنامـج الذي طـرأت فيـه. فالحدث الاستثنائي وسيلـة أساسية لتعزيـز قدرة البرامج علـى التشخيص الذاتي ولتعزيز وثوقية البرنامج الحاسوبي. لكن هذه الآليـات غـير عمليـة في اعتمادهـا المفـرط علـى الحاسوب وعلـى نظامه التشغيلي.

تسمـح المهـام غير المتزامنـة بتنظيـم البرنامج على شـكل مجموعة مـن العمليات المتعاونة، وينبغي عندئـذ أن تتضمن لغة البرمجة نموذج عمليـات (مثـل نمـوذج سـي إس بـي (CSP) الـذي وضعه العـالم هور (HOARE) (تواصـل العمليـات المتعاقبـة) والـذي يستخـدم بديـلاً

لـه في لغـة أدا) ينبغـي ترجمتـه على صعيـد البنى الكامنـة في الحاسوب ونظامـه التشغيلـي. كما ينبغي أن تتضمن لغـة البرمجة أساسيات إدارة السـيرورات ووسيلـة لمزامنـة هـذه السـيرورات. الجدير بالذكـر أن هذه الآليـات تتيـح تكييف سلوك البرنامـج مع قيود البيئة التـي يعمل فيها، وهنـا تحديـداً تكمن الصعوبة إذ ما من إجابة واحدة لتحد متغير بشكل واضح. ويختلف سلوك نظام المعاملات عن نظام الزمن الحقيقي. وبدلاً مـن إضافـة مراقـب للغة (كمـا هو الحـال بالنسبة لأدا) ربمـا يكون من الأحكـم ترتيب توافقيـة البرنامج لتتماشى مع أي نمـوذج لمراقب (وهو أسلـوب لغة سي، وسي++ فضـلاً عن العديد من اللغات السابقة لها، كما هو نهج كوبول مع نظم معالجة المداولات) وإن كان ثمة خطر بأن يتطلب الأمـر بعض التضحيات، فالمترجم إلى لغة الآلة في جميع الأحوال بعيد كل البعـد عـن القـدرة على التحقق مـن كل الأمور، بيد أنـه يسهل عليه تحديد المجالات التي تتسم بالصحة بشكل جزئي.

أسـلوب البرمجـة أمر هـام بلا شـك [١٠،١٩] لكن البرمجة ليسـت ممارسـة لأساليب شخصـية، إنما هي عملية مفاضلة مستمرة بين سهولة القـراءة والفعالية والسـلامة إلخ.... أخيراً، لا بد من الإشـارة إلى أهمية دور المترجـم إلى لغة الآلـة، الذي لولاه لكان نموذج البرمجة مجرد مفهوم نظري.

٢- عملية البرمجة:

تعـود خصوصـية عملية البرمجة بلا شـك لكـون هذا العمـل ناجماً عن نشـاط فرد متميز يضـفي بصمته الخاصـة عليه التي لا يمكن محوها أحيانـاً. وقـد يكون للبرنامج عدة مؤلفين، إلا أنـه لا يمكن أن يكون له أكثر من مؤلف واحد عند اللحظة (ز).

لحظة بدء عملية البرمجة، يوجد عدد من السـطور يسـاوي الصفر، ويكون أمام المبرمج مجموعة من الملفات و/أو البرامج السـابقة التي عليه

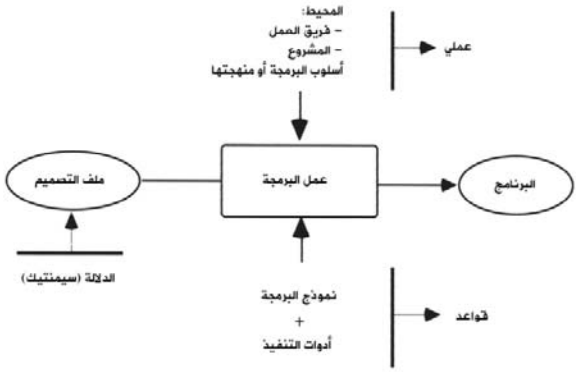
تغييرها وتجميعها لتكوين كيان جديد ينطوي بنهاية هذه العملية على عدد (ع) من السطور. وحتى ذلك الحين، سيكون عليه تحديد جميع البيانات الوسيطة وسلاسل البيانات اللازمة، وإدارة الموارد التي يتناولها البرنامج، وترتيب النص ليكون واضحاً وسهل القراءة (بما في ذلك بالنسبة له هو شخصياً)، وإضافة جميع المكونات الإضافية لضبطه وتطويره إلخ... وفي وقت لاحق، في مرحلة التكامل والصيانة، سيخضع البرنامج على الأرجح لتعديل متفاوت الأهمية، إما لتصحيحه، أو لتغييره وإضافة وظائف جديدة إليه، وصولاً إلى دورة تطوير جديدة.

يتضح لنا إذن وجود جانبين مختلفين ينبغي النظر إليهما بعين الاعتبار:

- الجانب الراهن، أي النظر بعين الاعتبار إلى القيود القائمة لحظة الإنتاج؛
- الجانب التطوري، أي مراعاة القيود الموروثة من الماضي وتلك التي يمكن بشكل معقول التنبؤ بها مستقبلاً. فتاريخ البرنامج وأوجه تطوره أمر محوري بصفة عامة لتحديد عمره المتوقع.

وهذان الجانبان لا يتناغمان بالضرورة، فالقرارات التي تُتخذ عند اللحظة (ز) حسب فهمنا للمسألة، ربما يعاد النظر فيها حينما يتسنى المزيد من الوقت لتعديل ما هو قائم. ومن التحديات التي تنطوي عليها البرمجة الحفاظ على تماسك البرنامج على الصعيد العام وإن وُجدت على الصعيد التفصيلي بعض مواطن الخلل الطفيف في هذا السياق.

آ- أوجه الوضع الراهن.- يمكن تمثيل عملية البرمجة من خلال المخطط البنيوي التالي:



البرنامج الناتج عبارة عن نص معد لتنفيذه على جهاز مستهدف؛ فهو رسالة بتعريف نظرية المعلومات وينبغي أن تحتوي عدداً من المعلومات الفائضة لضمان دقة ترجمة دلالة هذا النص البرمجي.

ب- الأوجه التطورية- أخذ ماضي ومستقبل البرنامج في الاعتبار يزيد بلا شك من تعقيد التمرين السابق. وتأتي مراحل البرنامج وفق التسلسل الزمني التالي:

- اختبارات الوحدات: البرنامج خاضع لسيطرة مؤلفه التامة.
- اختبارات التكامل: تم تسليم البرنامج إلى الفريق المسؤول عن تكامل مكونات البرنامج، فلم يعد خاضعاً لسيطرة المبرمج المباشرة، الذي لا زال بوسعه رغم ذلك تعديله مع اتباع احتياطات خاصة، أو إعادة تسليمه.
- التركيب أو التثبيت: تم تسليم البرنامج إلى فريق الدعم الفني، والتعديلات الوحيدة الممكنة هي المتعلقة بملف التوثيق الخاص بالعملاء.

- صيانة الإصلاح: تم تركيب البرنامج عند العملاء، والأفعال الوحيدة الممكنة هنا هي عمليات إعادة التسليم التي يقتضيها تصحيح البرنامج، فلم يعد للمؤلف أية سيطرة عليه.

في حال الصيانة الارتقائية أو الهندسة العكسية، يتوجب على المبرمج استرداد بعض البرامج كما هي والتي ربما كان يود تعديلها، الأمر الذي قد يؤدي إلى خيارات ما كانت لتكون مبررة لولا هذا الشرط.

٣- إنتاجية البرمجة:

يطرح تحليل إنتاجية عملية البرمجة تحدي قياس البرمجيات بشكل عام، ولا تتوافر في الوقت الراهن أية وسيلة قياس خاصة بالبرنامج الحاسوبي يمكن مقارنتها بأي مما يستخدم في مجالات الهندسة الأخرى. والخوض بشكل مفصل في هذا السياق يتعدى نطاق هذا العمل [١١،١٧]: إنما نكتفي هنا بعدد سطور شفرة البرنامج وبالمنطق السليم الذي لا ينبغي أن يفارق المهندس أبداً.

أول ما يتعين فعله هنا هو رسم حدود عملية البرمجة، وبخاصة فيما يتعلق بالاختبارات. ذلك أن مهمة البرمجة تُعد منجزة حين يكون قد:

١- كُتب البرنامج ؛

٢- أجريت جميع اختبارات الوحدات بنجاح وحققت تغطية محددة مسبقاً لمخطط التحكم الخاص بالبرنامج؛

٣- مع توافر وثائق البرنامج.

نتناول حينئذ سطور البرنامج المختبرة والموثقة. وثمة نسبتان هنا تثيران الاهتمام بصفة خاصة:

٤- إجمالي الإنتاجية: عدد كسم/فع (٣٥٠ أمر لكل فع يعتبر معدلاً جيداً)؛

٥- معدل تقدم المهمة أو العملية: عدد كسم (مدة المهمة).

وبالرجوع إلى كل محور من محاور مخطط التزامن، نستطيع تحليل

أثر المحور على الإنتاجية، وتقدير الأهمية النسبية لكل من هذه المحاور.

أ) توثيق التصميم: تؤثر دقة التوثيق بشكل مزدوج على الإنتاجية:

-من حيث حجم العمل الذي ينبغي القيام به: يتوقف حجم الخوارزميات إلى حد بعيد على كيفية تمثيل الكيانات؛

-من حيث جودة المعلومات المقدمة: ينبغي أن يتسم توثيق التصميم بالاتساق والاكتمال فيما يتعلق بمنطق الوظائف التي ينبغي تنفيذها. كما ينبغي أن تزود ملفات التوثيق المعلومات اللازمة لتقدير حجم البرنامج، وبخاصة مناطق البيانات، وتثبيت مستوى الموارد المتاحة للبرنامج.

وأي قصور في الدقة من شأنه أن يسفر عن:

-إهدار الوقت عند البحث عن المعلومة المناسبة، فضلاً عن مواطن النسيان والأخطاء التي سيترتب تصحيحها أثناء الاختبارات.

ب) نموذج البرمجة: يتجلى أثر نموذج البرمجة على صعيدين:

-الصعيد الأول: اتساق النموذج واكتماله (أو التمام) المنطقي هي خصائص منطقية من حقنا توقع اتسام أي بيئة برمجية بها. وتتسم اللغات الحديثة مثل لغة أدا عادة بالاتساق، إلا أن هذا لم يكن الحال دوماً في السابق. إذ كانت تنطوي أولى خصائص اللغة سي على عدد من مواطن اللبس الضارة باستخدام هذه اللغة على نحو جيد. ويقوم المترجم إلى لغة الآلة، كملاذ أخير، بتسوية مواطن عدم التناسق، لكن ذلك يكون على حساب قدرة البرنامج على العمل في مختلف البيئات.

يشكل عدم الاكتمال معوقاً أكبر، فحين لا يكون النموذج مكتملاً، ينبغي العودة إلى الجهاز الكامن وإلى نظام التشغيل لضمان سمة الاكتمال هذه، كاستخدام نظام إدارة قاعدة البيانات أو برامج إدارة النوافذ مثل إكس/موتيف(x/MOTIF)، أو إدارة مراقب غير ذلك المدمج في هذه اللغة. ثمة نماذج متعددة إذن ربما لا تكون متَّسقة مع بعضها البعض،

وتضـر إلى حد بعيد بوضـوح البرمجة والأهم من ذلك، سـلوك البرنامج الذي قد ينحرف بشـكل خطير. لغة أدا على سبيل المثال لا تنسجم قط مع نماذج أخرى، ما يشكل عائقاً كبيراً أمام انتشارها.

-الصعيد الثاني: تنفيذ النموذج على جهاز حقيقي.

هي في المقام الأول مشـكلة المسافة التي تفصل نموذجين، فإذا تنامت عما يجب، ربما أصـبحت عملية الترجمة، التي يعـد المترجم إلى لغة الآلة المكـون الأسـاس فيهـا، في غاية التعقيد؛ ويـؤدي قصـور في المعلومات إلى خيـارات في عمليـة الترجمة ربمـا تحول البرنامـج إلى كيان غـير عملي. ولضـمان التكافؤ على الصـعيد الدلالي للبرنامج، سيقوم المترجم إلى لغة الآلة فيه اسوأ حال باستنتاج وتوليد برنامج بلغة الآلة فيه الكثير من الحشو أو الفائض أو إضافة مستوى تفسير وسيط لتقليص هذه المسافة (وهو حال اللغـات الرمزية علـى غرار ليسـب (LISP) أو برولوغ (PROLOG)، ومعظم اللغات البرمجية غرضية التوجه).

الجديـر بالذكر أن مما فاقم أوجه انتكاس لغـات مثل بي إل/١، وأدا مؤخـراً، صـعوبة تنفيـذ مترجمين "جيديـن" إلى لغة الآلـة، فاللجوء إلى "مسكنات ألم" مثل تعليمات المترجم (PRAGMA) هو وسيلة مجردة تمامـاً من الأناقة وتقوم بإخفاء المشـكلة، لأن البرامـج لا تعود قابلة للعمل في بيئـات مختلفة. كما أن ترجمة مفاهيـم مثل تعدد الأوجه (المتغيرات أو الوظائـف أو الكيانـات) في اللغات البرمجية غرضـية التوجه تتطلب آلية لتحرير الروابط الديناميكية، التي تصـبح عديمة الفعالية في حال لم يقم نظام التشـغيل والعتـاد بإدارتها؛ يرجى الاطلاع على الفقـرة رقم ٧ أدناه بعنوان "البرمجة والمفاهيم غرضية التوجه".

إضـافة إلى ذلك، فإن جميع النسـخ الأولى من البرنامج سـتكون مفعمة بالأخطـاء (عنـد بداية عملية الاختبارات، كثيراً ما يصـل معدل الأخطاء إلى ٥٠ خطأ/كسـم)؛ مـن هنا فلا بد مـن إجراء القياس والمراقبة خلال مرحلة الاختبارات (التعقب، تحرير مناطق الذاكرة لجعلها في صيغة مفهومة، التحكم

بالثوابت). وهنا أيضاً، في حال تنامت المسافة عما يجب، باتت هذه العملية بالغة الصعوبة، وفقد المبرمج جميع المزايا التي ظن أنه يكتسبها باستخدامه لغة برمجية رفيعة المستوى، لن تحول للأسف قط دون ارتكاب الأخطاء.

ج) البيئة الخارجية: يعد أثر المحيط الخارجي بالغ الأهمية بصفة عامة، ففريق العمل الذي يعاني من ضعف التواصل سيعمل بشكل غير فعال ويمضي وقته في تصحيح أخطائه الخاصة به. كما أن مشروعاً مداراً على نحو سيئ (ذا مهام موزعة بشكل غير جيد أو متوازية على نحو مفرط، وتقدير بخس لحجم العمل على نحو متكرر) من شأنه أن يقوض أفضل همم الأفراد، ويكون الحل الوحيد تغيير رئيس الفريق. كما أن تطبيقاً عقائدياً للمنهجيات دون مراعاة درجة النضوج الحقيقي للمنظمات يجعل الأفراد وفرق العمل غير منتجة.

د) الأهمية النسبية لمختلف المحاور: نميل عادة إلى الاعتقاد بأن للغة البرمجة أهمية بالغة، إلا أن الأمر في الواقع العملي ليس كذلك. ذلك أن أثر فريق العمل وخبرته وصعوبة المسألة أكثر أهمية بكثير. وما يصح في الرياضيات، من أن النظام الشكلي قد يساعد لكنه ليس في أي حال من الأحوال بديلاً للذكاء، يعد صحيحاً كذلك في عالم المعلوماتية. من الصعب حقيقةً تحديد ما إذا كانت لغة أدا متفوقة على لغة بي إل/١ بشكل موضوعي، أم بالعكس، فهي مسألة رأي بحت.

وفيما يتعلق بلغات البرمجة، لوحظ بالفعل وجود أوجه اختلاف ملموسة لدى الانتقال من «المجمعات/المجمعات الكلية»* إلى اللغات رفيعة المستوى ومن ثم إلى الجيل الرابع من لغات البرمجة(L4G) (حينما يتسنى ذلك).

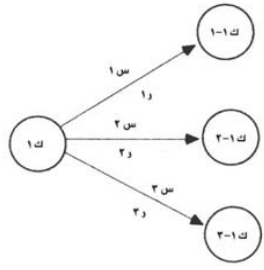
هـ) دور الفرد: يكمن مفتاح الإنتاجية الحقيقي بيد المبرمج، فالمبرمج

* assembleurs / macro - assembleurs :

الجـاد والمتمرس، ذو المعرفة الجيـدة بالخوارزميات [٣]، والذي يحسـن التصـرف مع زملائه، قـادر على تحقيق إنتاجية تزيد ١٠-٢٠ ضـعفاً عن آخر لا يعرف سـوى لغة البرمجة الخاصـة به وذي علاقات مضـطربة مع محيطـه. فالتدريـب والخبرة هما سـبيل تحقيـق الإنتاجيـة، الأمر الذي ينطبق على جميع مستويات المنظمة القائمة بالتطوير.

٤- تشييد كيانات رفيعة المستوى: وقفنا في الفصل السابق عند أهمية الآلات ذات الحالات محدودة العدد، فهي أجهزة تسهل برمجتها.

في حال رسـم مخطـط «حالة-الانتقال»، يمكن تمثيـل البيان بتعليمة CASE:



في لغة برمجة من نوع أدا، هذا يؤدي إلى:

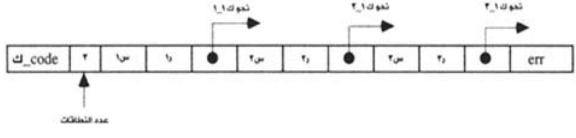
```
<<        الحالة ك١    > BEGIN   العمل المتصل ب ك١  END;
CASE SYMBOLE IS
WHEN س١ => BEGIN   العمل ر١  ; GOTC  الحالة_ك١_١  ; END;
WHEN س٢ => BEGIN   العمل ر٢  ; GOTO  الحالة_ك١_٢  ; END;
WHEN س٣ => BEGIN   العمل ر٣  ; GOTO  الحالة_ك١_٣  ; END;
WHEN OTHERS=> معالجة الأخطاء;
END CASE;
```

وذلك لكل عقدة من عقد المخطط.

في حال تكرُر الأعمال في مختلف عقد البيان، يمكننا تعريف إجراء "عمل" ACTION يتضمن CASE مع WHEN لكل عمل، ما يحقق ميزة تحليل شفرة البرنامج إلى عوامل بشكل صحيح. عندئذ يصبح النمط الأساس للمخطط كما يلي:

```
<<        الحالة ك١    > BEGIN ACTION_  ك( ك_CODE)      : END;
CASE SYMBOLE IS
WHEN  س١  => BEGIN  العمل (١)  ; GOTO  الحالة_ك١_١  ; END;
WHEN  س٢  => BEGIN  العمل (٢)  ; GOTO  الحالة_ك١_٢  ; END;
WHEN  س٣  => BEGIN  العمل (٣)  ; GOTO  الحالة_ك١_٣  ; END;
WHEN OTHERS=> ERROR (err_Q1 ك١ );
END CASE;
```

يظهر لنا نمط بالغ الانتظام بوسعنا ترميزه بغرض التبسيط في حال تعاظم حجم المخطط، وهذا النمط هو تعليمة آلة مجردة يمكننا تمثيله كما يلي:



بذلك نكون قد حولنا بنية تحكم وضبط ربما تكون بالغة التعقيد، إلى "جدول" سنتمكن من التحكم فيه وترميزه وتأويله بما يتفق والدلالة التي نود أن ترتبط بها. وهذا يدل مجدداً على مبدأ الازدواجية بين الأوامر التعليمات والبيانات، وهو جوهر نموذج فون نيومان. ثمة علاقة تقابل بين هذين الشكلين، ووحدها مقومات الملاءمة (التضام وسهولة الضبط

والمحاكاة إلخ...) هي التي تملي أسلوب تمثيل الذاكرة الأفضل.

٥-تحديد متغيرات* البرنامج: إن تحديد المتغيرات جانب جوهري من عملية البرمجة. وينطوي ذلك على القدرة على تجديد برنامج سليم بعد إضفاء بعض التعديلات. وتتناول هذه العملية البيانات و/أو شفرة البرنامج.

الجدير بالذكر أن فكرة تحديد متغيرات البرنامج في حد ذاتها متأصلة في البرمجة بسبب أوجه التعميم التي تنطوي عليها هذه العملية. إذ ينجم كل برنامج حقيقي عن خيار كان لا بد من اعتماده، إلا أن هذه الخيارات كانت اختلفت لو اختلفت المتطلبات والتصميم. كما أن ثمة احتمال لأي إضافة للبرنامج، وإن لم تلب حاجة محددة، أن تُطلب من قبل نسخة لاحقة من البرنامج. تنطوي هذه العملية إذن على إجراء اللازم لتسهيل تعديل البرنامج عندما يحين موعد التعديل. هذه القدرة على «استشعار» ما قد يتطلب التعديل، والتصرف بناء على ذلك، هو سمة نفسية مميزة للمبرمجين الجيدين.

ويمكن تمييز بعض أكثر أسباب التعديل انتشاراً:

- التغليف (أو الكبسلة): وهو حال مجموعة الرموز التي تمكن من احتواء جهاز أو برنامج لم يؤلفه المبرمج؛
- أوجه التصحيح: ويمكن لها أن تطال البيانات و/أو التعليمات؛

وتتلخص القاعدة في تخصيص اسم رمزي لكل ما هو معرض للتحرك ويتطلب وصفاً أوحداً. وتعد مسألة إدارة الأسماء بشكل عام بالغة التعقيد بالنسبة للبرامج كبيرة الحجم. وتتيح معظم لغات البرمجة عدداً من التسهيلات للقيام بهذا النوع من التغيير مثل:

* متغيرات = parameters بالغة الأنجليزية.

- الصيانة التكيفية: بمعنى إثراء هيكل البيانات و/أو بنية ضبط البرنامج.

ولادخال "المتغيرات" ثمة آليات مختلفة في متناول المبرمج:

- تلك التي تنطوي عليها لغة البرمجة والتي ينفذها المترجم إلى اللغة الآلة (وهي بالغة التطور في لغة أدا فيما يتعلق بالحزم، والوحدات العامة، والحمل الزائد، إلخ...)؛
- تلك التي تقتضي استخدام معالج إضافي مثل مولد الماكرو الخاص بلغة البرمجة سي.

تواجهنا هنا مجدداً مسألة الاكتمال. فهل ينبغي أن تتضمن لغة البرمجة الآليات الخاصة بإدخال «المتغيرات» الممكنة، وهو أمر محال طبعاً، أو أنه ينبغي أن تنحصر هذه الآليات بالضرورة البحتة (على سبيل المثال المتغيرات الخاصة بتخصيص البيانات، والترميز الخاص بالنوع المقطع، إلخ...)؟ ففي جميع الأحوال ستكون ثمة حاجة للجوء إلى معالج إضافي أو أكثر.

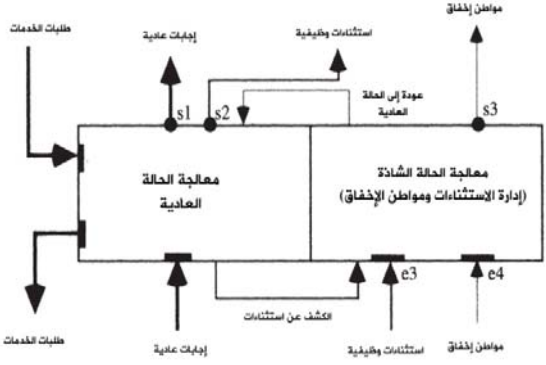
نظراً لسمة البساطة الضرورية التي لا ينبغي أن يتخلى عنها أي مصنع أدوات، يفضل تجنب إعاقة لغة البرمجة بآليات كثيراً ما تكون بلا جدوى (مثل فرض الحمل الزائد على المشغلين ما يجعل البرنامج صعب القراءة) فهي تعود على كل حال إلى الدلالة العامة للبرنامج وليس اللغة.

ومن أكثر آليات الإضافة المستخدمة هي مولدات الماكرو، التي تمكننا من القيام بمختلف أنواع التحكم الرمزي بتسلسلات من حروف برنامج؛ فهي أدوات لا غنى عنها. وربما تكون مرتبطة بشكل غير مباشر بلغة تعرف قواعدها، كما قد تكون محايدة تماماً.

وقد يسفر تحديد المتغيرات بشكل صحيح عن مكاسب عظيمة في الإنتاجية.

٦-معالجة الأخطاء والضبط الذاتي: يتعلق هذا الجزء من البرنامج بالأجزاء ب٢ و ت٢ من النمط الأساس لنشاط البرمجة (راجع الفقرة ١، نموذج البرمجة)؛ فهو يساهم في التحقق الديناميكي من تنفيذ البرنامج وفي تعزيز قوته. وبالنظر إلى الضرورة المتنامية لتحقيق الوثوقية في البرنامج الحاسوبي، بات هذا الجانب من عملية البرمجة أكثر فأكثر أهمية. ونعرض فيما يلي المبدأ الخاص بها.

يمكن تمثيل برنامج مثالي كما يلي:



ثمة أربعة منافذ لدخول البيانات برنامجاً من هذا القبيل من ، e١) إلى(e٤ يتطلب كل منها نوعاً خاصاً من المعالجة:

-طلبات الخدمات؛ وهو المنفذ الطبيعي الذي يمكن من خلاله التحقق من بيانات الدخول والمصادقة عليها؛

-الإجابات العادية؛ وهي الإجابات التي تقدمها الخدمات المطلوبة والتي ينبغي التحقق من صحتها والمصادقة عليها.

-الاستثناءات الوظيفية؛ يتلقى البرنامج استثناءً بوسعه معالجته (متل

تحرير أحد الموارد على سبيل المثال).

-مواطن الإخفاق؛ يتلقى البرنامج استثناءً يظهر تدهور النظام. ينبغي أن تكون التعليمات الخاصة بمعالجة مثل هذه الحالة محمية حماية خاصة.

لا بد من الفصل تماماً بين الاستثناءات الوظيفية وبين مواطن الإخفاق.

وتوجد ثلاث نقاط خروج (S_1 إلى S_3)

-الإجابات العادية؛

-الاستثناءات الوظيفية؛

-مواطن الإخفاق.

ولكل منها دلالة متميزة.

جميع البرامج الخاصة بمعالجة الاستثناءات ومواطن الإخفاق هي من النوع (ب) وبالغة الحساسية للبيئة الخارجية. هذا وتُعرض عملية استرجاع الأحداث الموافقة الآليات المقترحة من قبل لغة البرمجة، وآليات مراقب المعالجة، وآليات نظام التشغيل الضمني، وآليات العتاد في آن واحد للخطر. لذا فمن الضروري هنا السيطرة بشكل كامل على تعايش مختلف هذه الآليات عندما يكون ثمة احتمال برمجة هذا النوع من الواجهات.

كما ينبغي أن تراعي عمليات المعالجة التي ينبغي إجراؤها احتمال كون هذه البيانات تالفة، وعدم توافر بعض الموارد، وزوال موثوقية البيئة. لذا لا بد وأن تكون الشفرة المقابلة أكثر مكنة من الشفرة التي يضمن عملها على نحو سليم. ولا يمكن أن تُجرى الاختبارات الموافقة إلا بواسطة محاكاة الأعطال، وينبغي أن يكون حجم هذه الشفرة مضبوطاً ضبطاً تاماً ولا يكلف بالمهمة الموافقة لهذه الشفرة سوى أحد المبرمجين المتمرسين.

وبالنظر إلى ارتقاء النظم، باتت عمليات المعالجة متنامية الأهمية بيد أنها باهظة الثمن؛ وقد تحط في حال عدم انسجامها التام مع الشفرة الإسمية من أوجه الأداء إلى حد كبير، دون الآثار المتوقعة في حال حدوث مشكلات.

٧-البرمجة والمفاهيم غرضية التوجه: البرمجة غرضية التوجه ليست بفكرة جديدة، فقد ظهرت قرب أواخر حقبة الستينات وبداية السبعينات في مجالين متميزين من مجالات التطبيقات: المحاكاة مع لغة سيمولا (Simula) عام ١٩٦٧، ومجال الواجهات الرسومية مع سمولتوك (Smalltalk) عام ١٩٧٢. وقد كان لمفهوم "الغرض" دور كبير في تعريف لغة أدا قرب نهاية السبعينات (إذ كان الحديث عن التغليف وأنوع البيانات المجردة بشكل أكبر). وتعد الأساليب غرضية التوجه أكثر حداثة ويمكن اعتبارها تكملة طبيعية للبرمجة الغرضية ذات المراحل المبكرة من دورة التطوير؛ إذ تدعمها مختلف اللغات، لعل أشهرها لغة النمذجة الموحدة التي اقترحتها مجموعة إدارة الكيانات (UML of OMG) والتي تدمج طيفاً من الجهود السابقة (موريز، منهج التصميم والتحليل البنيوي/ SADT/SART، مخططات انتقالية الحالة، ومنهج النمذجة الغرضية ومخططات الفئات التي هي في الواقع الرسوم التخطيطية للعلاقات - الكيانات الأساس لمنهجية موريز (MERISE*)، إلخ...).

هذا وترمي البرمجة الغرضية والمنهجيات المصاحبة لها، إلى توحيد طيف الآليات القائمة منذ زمن بعيد في بيئات الترجمة و/أو أدوات الهندسة البرمجية بمساعدة الحاسوب، وذلك وفق ثلاثة مبادئ رئيسة: الفئة، والكائن، والإرث، وبعض المبادئ الأخرى المنحدرة منها مثل تحديد الأنواع والحوسبة العمومية وتعدد الأشكال أو الأوجه، إلخ...

ترمي عملية التوحيد هذه إلى تسهيل بناء المكونات البرمجية، وتعزيز هيكلتها في مكتبات من "الأغراض" التي يمكن إعادة استخدامها بشكل ساكن و/أو ديناميكي، وذلك بهدف تسهيل تنظيم البرمجة الهائلة اللازمة للمشاريع الضخمة. إلا أن السمة الأبرز للبرمجة غرضية التوجه

* Merise هي منهجيةٌ نمذجة تستخدم لأغراض عامة في مجال تطوير نظم المعلومات وهندسة البرمجيات وإدارة المشاريع :

هي تلاشي الفصل التقليدي بين الجزء الخاص بالبيانات والجزء الخاص بالتعليمات من البرامج، والذي يعد الفصل الصارم بين قسم البيانات وقسم الإجراءات (Data division، procedure division) في لغة كوبول أفضل مثال عليه. إذ أنه يُنظر هنا إلى البيانات والعمليات كبنى ثنائية. وهذا ليس خطأ في نهاية المطاف، وإن أوجد ذلك أحياناً صعوبات في مرحلة التعلم، لأننا كثيراً ما ندرك المجموعات الساكنة (أي البيانات المخزونة في الذاكرة) قبل التغيرات الديناميكية (التعليمات التي تتحكم بهذه البيانات). ويستند مبدأ الهيكلة الجديد هذا إلى مفهوم الأنواع المجردة من البيانات (إيه دي تي) ADT الذي سبق بكثير ظهور اللغات الغرضية.

ويعرف الفئة بما فيه من العمليات التي تسمى "طرقاً" في البرمجة الغرضية نوعاً مجرداً من البيانات. ويعد الغرض نقطة معينة من فئة ما أثناء البناء الساكن أو الديناميكي للبرنامج الحاسوبي. تريب الفئات بشكل هرمي يسمح بتحديد قواعد الإرث. ويمكن الاطلاع على مرجع جيد خاص ببرمجة وتصميم الغرض في المرجع [١٩].

ثانياً: الاختبارات

١-طبيعة الاختبارات وغايتها.

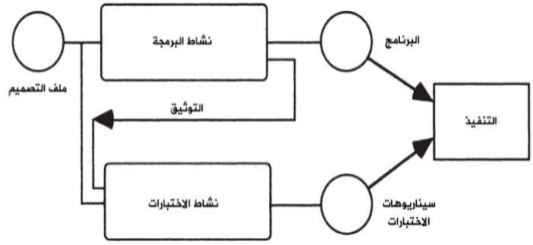
أ) تعريفات وأهداف: تمثل الاختبارات وسيلة للتأكد من صحة ما قمنا ببرمجته. بمعنى آخر، في حال زودنا البرنامج ببيانات تحترم بروتوكول النداء، أخرج البرنامج نتائج متوقعة في الوقت المخصص له ودون استهلاك موارد أكثر من تلك المتاحة له، وإلا قمنا بتشخيص خطأ وتقصي سببه.

ولا ينفصل نشاط الاختبار عن نشاط البرمجة، الذي يمثل ثنائياً معه. يقتضي كل نشاط مجهوداً معيناً (مج). إلا أنه ينبغي تعظيم فعالية

المجموع التالي قدر الإمكان:

مج(إجمالي) = مج(برمجة) +مج(اختبار).

يفرض الاختبار حكماً تنفيذ البرنامج، بيد أن هذه ليست الطريقة الوحيدة لتصحيح برنامج ما. إذ يمكن إيجاد أخطاء عديدة بعيداً عن تنفيذ البرنامج، عن طريق مراجعة التصميم، وفحص الشفرة، وإعادة القراءة بشكل متقاطع، والتجارب، إلخ..



وهنا أيضاً يكون الجهد المخصص لاكتشاف الأخطاء مجموعاً يساوي: مج(الخطأ) = مج(مراجعات) + مج (اختبار)؛

وهو المجموع الذي ينبغي تعظيم فعاليته.

ويعد الاختبار بروتوكول تجريبي بالغ الدقة ويمكن تكراره، من شأنه أن يثير طيفاً من الإجابات، التي تبين سلامة عملية التغيير التي أجراها البرنامج. صياغة هذه الاختبارات عملية مكلفة، فضلاً عن كون الحالات الاندماجية المحتملة الناجمة عن بنية البيانات الواردة، ونُهُج العمل المجازة، ومختلف الإعدادات، مزيجاً خطراً يصعب التحكم فيه.

وفي نظام برمجي ذي عدد (م) من المداخل وعدد (ن) من المخارج ذات س١، س٢، ...س$_م$ وص١، ص٢... ص$_م$ من السيناريوهات على التوالي، يكون عدد السيناريوهات المحتملة:

(صـ١ x صـ٢ x ... صـ ن)^صـ١ x صـ٢ ... صـ م تكون معظمهـا حالات رفض. وأمـام هذا العدد الهائـل، يكمن التحدي في إيجاد اختبـارات «جيدة»، أي اختبارات من شأنها إيجاد الأخطاء التي لا نعرف عددها ولا موطنها.

ب- البيانات الإحصائية: أجريت دراسات عديدة بشأن توزيع وتكلفة الأخطاء [١٦]. وتظهر هذه الدراسات بصفة عامة:

- أن ثلثي الأخطاء ينجم عن أخطاء في الدراسة والتحليل والتصميم؛
- أن ثلث الأخطاء ينجم عن البرمجة.

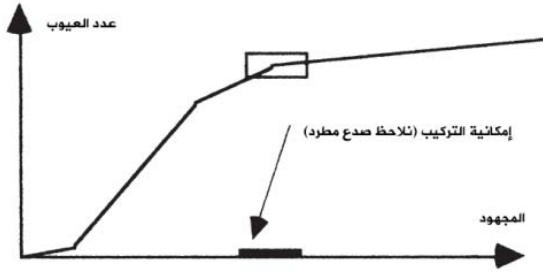
هذا وتتنامى تكلفة الأخطاء كلما تباعدت المسافة الزمنية التي تفصل المرحلـة التـي أحدثت فيها هذه الأخطاء عن المرحلة التي تم فيها الكشـف عن هذه الأخطاء. ويمكن وضع الجدول التالي الذي يوضح بعض المعدلات:

التحديد التقني للمتطلبات، والتصميم العام	١			
التصميم	٢,٥	١		
البرمجة	٦	٢,٥	١	
التكامل	٢٥	١٠	٤	١
التشغيل	٧٥	٣٠	١٢,٥	٣

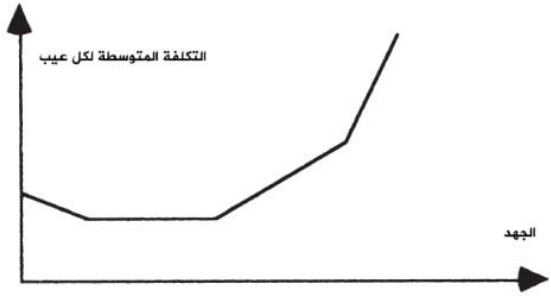
سـيكلف خطـأ في التعبـير عـن المتطلبـات إن تم تصـحيحه في مرحلـة التشـغيل٧٥ ضعف ما سـيكلفه إن تم الكشف عنه خلال مرحلة التعبير عن المتطلبات، ومن هنا تنبع أهمية النماذج البدئية والتجريبية.

وحتـى بلـوغ مرحلـة البرمجـة، لا يمكننا إجـراء الاختبـارت، بيد أن سياسة كشـف مبكر عن الأخطاء بمساعدة وسائل المراجعة ستكون مثمرة بلا شك.

ج - ديناميكيـة المجهود الخاص بالاختبارات: مـا يهمنا هنا هو عدد العيوب التي يتم الكشـف عنها وفق المجهود المبذول في مرحلة الاختبارات. وهذه الديناميكية هي أيضا على شكل منحنى S.



وللتكلفة المتوسطة لكشف-تصحيح خلل ما الشكل القطعي المكافئ التالي (استمداد من المنحنى S ومتعلق بمشتقه).

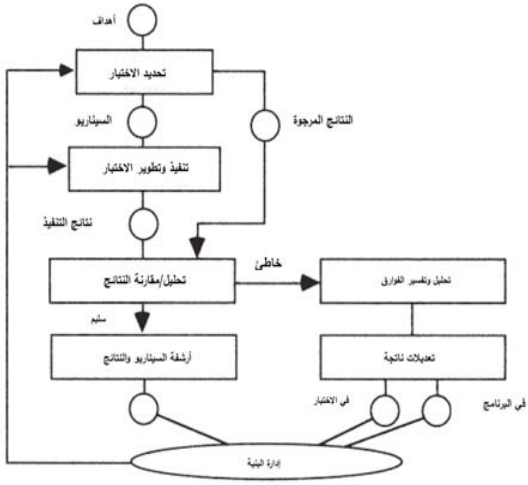


في مرحلة ما، يفضل إذاً تثبيت أو تركيب البرنامج الحاسوبي، لأن تكلفة مواطن الخلل التي يتم الكشف عنها بعد تركيبه في "المنصة" ستكون أقل منها في حال لزم صنع سيناريوهات الاختبارات الموافقة. أما بالنسبة لتكلفة التصحيح بعد التركيب في المنصة، فينبغي إدراج تكلفة

نتائج العطل، وبخاصة بالنسبة للبرمجيات الجاهزة للاستخدام (مفتاح باليد).

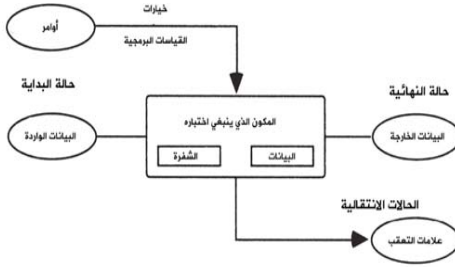
النتيجة الظاهرة لمجهود مرحلة الاختبارات هي سلسلة من سيناريوهات الاختبارات كشف البعض منها عن أخطاء، ولتكن: ت$_{1}$، ت$_{2}$،...،ت$_{س-1}$. فلنفترض أن ت$_{س}$ كشف عن خطأ ما، ما أسفر عن تعديل البرنامج. لنتأكد من إحرازنا تقدم فعلاً، علينا إعادة تنفيذ كل أو جزء من سلسلة ت$_{1}$، ت$_{2}$،...،ت$_{س-1}$ إضافة إلى تس. ثمة تباطؤ لا مفر منه إذن يتنامى بقدر عدم ملاءمة أو غياب أدوات إدارة الاختبارات. ويطابق هذا التباطؤ الطرف في المعادلة λ ت المميزة للمنحى S (انظر الفصل الرابع الفقرة (١)).

د- دورة تطوير الاختبارات: تجري صياغة الاختبارات وفق الأهداف الناجمة عن الاستراتيجية المتبعة والمعلومات المتوافرة. ويتطلب تحليل النتائج، الذي يكون عادة عبارة عن مزيج من الوسائل الاستنتاجية والاستقرائية، قدرات منطقية عالية، وبخاصة لدى صياغة النظريات التفسيرية التي ينبغي النظر إليها على أنها نظريات مصغرة تشكل إطار التعديلات التي يتم إجراؤها. ولا تقل صعوبة كتابة اختبارات جيدة عن صعوبة كتابة برامج جيدة. وكثيراً ما يُقلَّل من صعوبة الاختبارات، وكثيراً ما يتم تكليف موظفين ذوي مؤهلات أقل بالمهام الخاصة بها؛ وحينئذ يكون الأداء سيئاً جداً. وفيما يلي دورة تطوير الاختبارات:



وكلما بعدنا عن هذا المخطط، قل اعتبار عملنا بعمل الاختبار.

٢- اختبارات «الصندوق الأسود» واختبارات «الصندوق الأبيض».



يمكـن تمثيل رؤيتنـا لأحد مكونـات البرنامج الحاسـوبي الذي ينبغي اختباره بالمخطط التالي:

تُحَدِّدُ مواصـفات البرنامج الحالتين المبدئية والنهائية بشكل جيد، في حين تتوقف الحالات الانتقالية على دقة الملاحظة المطلوبة: فقد تكون بالغة الكبر وتغير من سلوك البرنامج.

آ- تعريف ودور اختبارات «الصـندوق الأسـود: لا ننظر بعين الاعتبار هنا سـوى إلى البيانات الـواردة والبيانات الخارجة، مـع حظر النظر إلى مضمون المكون.

هي عملية المصـادقة على البرنامج الحاسـوبي قياسـاً بمواصـفاته. ينبغي إذن دراسة البنية الدقيقة لهذه النطاقات والمجموعات الموافقة لها. ولتجنب مواجهة معضـلة الحـالات هائلة العدد المحتملة التي أشـرنا إليها أعـلاه ، ثمة حاجة لاسـتراتيجية تطويـر اختبارات المصـادقة قائمة على معرفة عميقة لنهج اسـتخدام البرنامج الحاسوبي. وانطلاقاً من مجموعة من السيناريوهات التي تمثل قدر المستطاع متطلبات المستخدمين، نستطيع تحديد المتغيرات للتحقق من قوة البرنامج وأوجه أدائه إلخ...

ينطوي الجانب غير المناسـب لاختبارات الصـندوق الأسـود أولاً عن الحـالات التبادلية كثيرة العدد التي ربما تنتج عائداً متدنياً للجهد المبذول في الاختبـار، وبخاصـة حينمـا لا تمثل الاختبـارات الاسـتخدام الحقيقي للبرنامج الحاسـوبي، أو عندما لا يكون المكلفون بعملية التأهيل على اطلاع جيد بالموضـوع. بل إن تحليل النطاقات قد يكون شـبه محال عند افتقارنا لحد أدنى من المعلومات الخاصـة ببنية البرنامج الحاسـوبي، الأمر الذي يحول بدوره دون التحقق من اجتياز الحدود.

ب- تعريـف ودور اختبـارات «الصـندوق الأبيض: ننظـر هنـا بعين الاعتبـار إلى المكون الذي نقوم باختبـاره بأكمله، ونراقب المكون بدرجة ما

من التفصيل بمساعدة أدوات القياس المتوافرة في البرنامج و/أو نظام التشغيل. هي عملية التحقق من صحة عمل البرنامج الحاسوبي من حيث تنفيذه على الصعيد العملي.

تلقي اختبارات الصندوق الأبيض نظرة تحليلية متفاوتة في الدقة على سلوك مكون البرنامج. وهنا تحديداً تكمن الصعوبة، فحجم المعلومات التي يتم تناولها قد يتعاظم، حسب درجة تفصيل هذه النظرة. وتعتمد الاختبارات كلياً على بنية المكون، وبخاصة عندما تكون النظرة التي نلقيها دقيقة. وقد تكون بيئة الاختبار بالغة التعقيد، وبخاصة حينما ينبغي محاكاة مكونات غير متكاملة.

إن التحقق بواسطة اختبارات المصادقة ليس عملية سهلة بشكل عام، وقد يسفر عن وضع لا نعرف فيه على وجه التحديد ما الذي تم التحقق منه من خلال عملية المصادقة. وينبغي تنفيذ اختبارات سلوك البرنامج بحد أدنى من أدوات القياس، بحيث يتعرض السلوك قيد الملاحظة لحد أدنى من الإزعاج حتى يعتبر ممثلاً بالقدر الكافي.

وتنطوي استراتيجية اختبارات جيدة على جمع اختبارات الصندوق الأسود و اختبارات الصندوق الأبيض مع تنويع وجهات النظر:

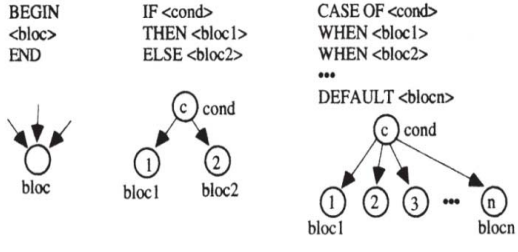
- بنيان النظام، حيث نهتم بصفة خاصة بالواجهات البينية؛
- البرمجة، التي ننظر فيها في سياق تغطية تعليمات البرنامج؛
- التكامل، حيث نقف عند تتابع الوظائف بغرض تكوين سلاسل طويلة بحيث نستطيع تقدير المدة الوسطية قبل حدوث العطل (Mean time to fail) للبرنامج الحاسوبي؛
- الصيانة، التي نقوم فيها بحساب المدة الوسطية قبل الإصلاح (Mean time to repair)؛
- التشغيل، حيث نقف عند السلوك العام ومنظور المستخدم الذي نقوم بوصفه بواسطة زمن الاستجابة والمدة الوسطية بين مقاطعات النظام (Mean time between system interrupt)

للبرنامج الحاسوبي.

لا بد إذن من مقاييس جيدة لتجنب هدر الجهد في هذه المرحلة.

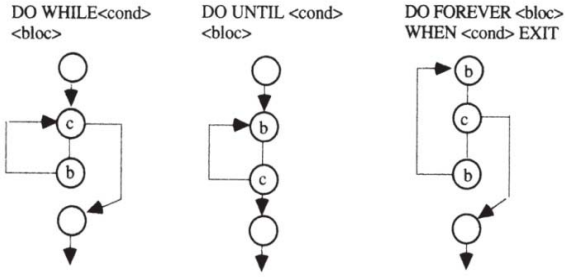
٣- تحليل المسارات.: يخرج تفصيل عملية التحليل عن نطاق هذا الكتاب [١٦]، بيد أنها من الأهمية بحيث تستدعي رسم خطوطها الرئيسة.

بوسعنا دوماً ربط كل برنامج بمخطط ينمذج تعاقب التعليمات فيه: وهو ما يعرف بالهيكل التنظيمي للبرنامج*، إلا أنه ناتج هذا البرنامج وليس مخطط مواصفاته. هذا ويعالج مترجم اللغة رفيعة المستوى، الذي يحول البرنامج إلى لغة الآلة، بيان التحكم لتوليد سطور لغة الآلة وتحسين فعاليته قدر الإمكان. كما يسهل الاستخدام المنظوم لأسس البرمجة البنيوية صياغة بيان التحكم ويزود المخطط بخصائص مثيرة للاهتمام (المخططات الشجرية للمناطق المتراكبة). ويمكن إظهار الرسوم البيانية ذات الصلة كما يلي:



ويمكن تمثيل مختلف أنواع الحلقات كما يلي:

* organigramme :



وانطلاقاً من هذه الرسوم البيانية التي تعرفها المترجمات إلى لغة الآلة، يمكننا تعريف عدد من العمليات بالغة البساطة والفائدة.

فحين يتم تنفيذ البرنامج مع مجموعة معينة من البيانات، ينجم مسار ما على الرسم البياني، ويشكل مجموع المسارات الناجمة "تغطية". ومن هذه المسارات ما يسهل جداً التحقق من صحته:

- تغطية جميع العقد ويتضمن هذا الاختبار إدخال مجموعات من البيانات تمكننا من التأكد من تنفيذ جميع العقد لمرة واحدة على الأقل. وتعرف هذه التغطية المبدئية بـ "ت٠".
- تغطية جميع الأقواس: أي إدخال مجموعات من البيانات تسمح بالتأكد من المرور بجميع أقواس الرسم البياني لمرة واحدة على الأقل. وتعرف هذه التغطية بـ "ت١".

ومن السهل جداً التأكد من هاتين التغطيتين:

- إما من خلال معالم التعقب التي وضعها المبرمج وبمساعدة أدوات قياسات البرمجيات.
- وإما باستعمال محلل برنامج المصدر، ويوجد من هذا المحلل عدة أنواع في السوق.
- وإما بواسطة المترجم إلى لغة الآلة، وهو الوسيلة الأفضل على

الإطلاق، حيث يعالج بالضرورة هذا البيان، على مستوى لغة الآلة و/ أو على صعيد بنية وحدة البرنامج.

هـذا ويكون عائـد الجهد المبذول علـى الاختبارات انطلاقـاً من هذه التغطيات، ممتازاً، وبخاصـة لدى ربط ت١ باسـتخدام منظوم للبرمجية البنيوية، التي تثبت من خلال ذلك جدواها الاقتصـادية الحقيقية، وليس فقط قيمتها الجمالية.

إلا أن هـذه التغطيات لا تسـتنفذ للأسـف الحالات الكثـيرة المحتملة للبرنامج، بيد أنها تشكل مرجعاً لا غنى عنه. ونلاحظ على سبيل المثال في الحلقات أعلاه أن بوسعنا الحصول على تغطية ت١ للحلقة بإجراء دورتين في الحلقة، إلا أن الاختبارات المثيرة للاهتمام هي:

- تنفيذ <وحدة>* الحلقة مرة واحدة على الأقل:
- عدم تنفيذ <الوحدة>

وذلك بالرغم من أن ت١ لا يؤدي سوى إلى صنع اختبار واحد.

وللخوض بشـكل أكـبر في استكشـاف مجموعـة الحـالات الكثـيرة المحتملة، ينبغي ربط بيان التحكم بآلة ذات حالات محدودة العدد نستطيع تحليل اللغة الخاصة بها (أي علامات التعقب التي تخلفها عملية التنفيذ). وكما الحال بالنسـبة للرسوم البيانية الخاصـة بعلاقات ارتباط البيانات، فإن هذه الدراسـة خارجة عن سـياق هذا المؤلف، إلا أنها تشـكل الأساس النظري الوحيد الذي نستطيع به سبر أعماق التباديل الكثيرة بشكل منظم ومنضبط.

٤- اختبـارات علـى الخـط (الاختبـارات الآنية).- يوصـف الاختبـار بأنـه «على الخـط» حين يكون مدرجـاً في البرنامج الحاسـوبي، ونستطيع تفعيله حينما تطرأ أحداث معينة.

---

* (وحدة) = bloc :

ومن شأن مثل هذه الاختبارات أن تتيح التحقق من:

- البيانات الواردة إلى برنامج قبل تشغيله؛
- التماسك والاتساق البنيوي لمنطقة الذاكرة التي تتقاسمها برامج مختلفة؛
- تماسك الدلالات الخاصة ببعض الأحجام ذات الصلة بالبرنامج، سواء كان على صعيد البيانات (الارتباطات الوظيفية) أو السلوك (زمن الاستجابة، طول الطابور، عمق المكدس، إلخ.).

في حال البرنامج الحاسوبي الذي تسود فيه برامج من نوع ب، تساهم هذه الاختبارات بشكل كبير في تعزيز قوة البرنامج، من خلال تسهيل الكشف عن الحالات التي يحتمل أن تكون شاذة قبل وقوع الخلل أو العطل.

فلنعرض مثالاً على ذلك:

لنفترض أننا نسعى لتنفيذ العملية:

$$z = x \times y \quad \text{حيث} \quad x, y, z \in [0:65000]$$

و x,y, وراد من البيئة

حتى لا يكون z *خارجاً عن طاقة البرنامج* ينبغي التأكد مسبقاً من أن:

$$x \times y \leq 65000$$

ما يقودنا إلى كتابة ما يلي:

```
IF x > 65000 | y > 65000 THEN < خطأ > ;
IF x ≠ 0 & y > (65000/x) THEN < خطأ > ;
z = x × y.
```

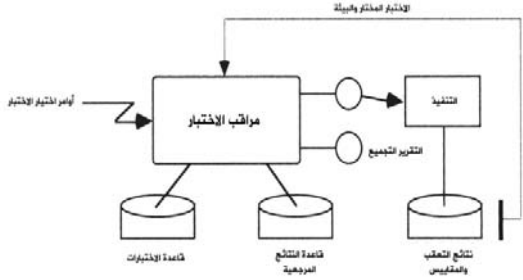
وهذا هو السبيل الوحيد لتشخيص ما يحدث على وجه التحديد في حال تجاوز قدرات البرنامج.

تُمَكِّنُنا إذن تغطية البرنامج ت١ من التحقق من صحة النطاقات،

الأمـر الذي يظهر مجدداً ثنائية الشـفرة-البيانات. وفي حال ولد المترجم إلى لغة الآلة هذه الشـفرة (وهو ما تتيحه لغات بالغة التميز مثل لغة أدا)، لا يمكـن ضـمان التغطيـة ت١ إلا إذا كان المترجم إلى لغة الآلة نفسـه هو الذي ولد البيان، وهذا من القيود الأساسـية للأدوات التي تعالج البرنامج المصدر.

٥- اختبـارات الأداء: تنطـوي هـذه الاختبارات علـى التأكد من الأداء الإجمالي الجيد للبرنامج الحاسوبي في سياق بيئته. الجدير بالذكر أن هـذه الاختبارات ذات أهمية خاصـة بالنسـبة للنظم الحاسـوبية التي تطغى عليها برامج من نوع ب.

٦- أدوات الاختبـار: تلعـب أدوات الاختبـار دوراً بالغ الأهمية في سـياق التكلفة الاقتصادية الإجمالية لمشـروع صنع نظام حاسوبي (راجع الفصـل ٤، ٨ آنفاً). فبمجرد تجاوز المشـاريع حجماً معيناً، يصبح مراقب الاختبارات مكوناً لا غنى عنه: ت



وتنطوي الوظائف التي يضمنها المراقب على مراجعة القواعد المختلفة

وتحديثها، وأرشفة واستعادة الاختبارات والنتائج، ومولد متغيرات البيئة، ومقارنة النتائج، ووظائف المحاكاة (الشاشات، الواجهات...) إلخ.

وفي سياق الأدوات الأساسية، فإن اتساق ما تحدثه بيئة البرمجة (راجع الفصل ٤، الفقرة C،٨) وبيئة التنفيذ عامل محوري مؤثر في الإنتاجية.

٧- استراتيجية الاختبارات.- نظراً إلى الحالات التبادلية الكثيرة الناجمة، لا بد من وجود معايير تسمح باتخاذ القرار المناسب. لعل المعيار المنطقي هو المدة الوسطية بين حوادث خدمة النظام الحاسوبي (MTBSI)، أي مجموع المدة الوسطية قبل حدوث العطل + المدة الوسطية قبل الإصلاح (إتمام الإصلاح) (MTTF + MTTR)، وكذلك الجاهزية التي هي النسبة MTTF/MTBSI. ويتميز هذان البعدان بقياس وثوقية البرنامج كما يراها المستخدم بإضافة بعد سرعة إصلاح المستخدم للبرنامج. وهو المقياس الوحيد الذي يدل على شيء محدد، ألا وهو تكلفة الأعطال بالنسبة للمستخدم والمحرر الحريص على رضا عميله في آن واحد. أما الباقي فأدبيات نظرية.

ينبغي أن تعظم استراتيجية الاختبارات المدة الوسطية بين حوادث خدمة النظام الحاسوبي MTBSI فهو معيار بالغ الحزم بالنسبة لمحرر النظام البرمجي، إذ عليه وضع ألية قياس تسمح برصد تغيرات هذا المعيار (MTBSI).

الفصل السابع

إدارة مشاريع البرمجيات

أولا: نموذج التكلفة التأسيسي (COCOMO)

هو نموذج* لتقدير التكاليف طوره العالم بي. بوهيم على أساس قاعدة من البيانات الإحصائية التي جمعت من عدد كبير جداً من المشاريع عامي ١٩٨٠-١٩٨١. ويعرض كتابه الكلاسيكي علم اقتصاد هندسة البرمجيات [١،١٧] وصفاً للنموذج الكامل.

ويأتي هذا النموذج في ثلاثة مستويات سنعرض فيما يلي أسسها.

١- معادلات النموذج: لاحظ بي. بوهيم، كغيره من المؤلفين، العلاقات الكمية التي تربط بعض الأبعاد التي تميز مشاريع البرمجيات مثل:

- عدد التعليمات التي سلمت، بالألوف (ألف سطر من التعليمات المسلمة)
- إجمالي المجهود (أفراد-شهور)
- مدة التطوير

وحسب نوع البرامج ث، ب وم. يقترح النموذج العلاقات التالية:

ث___برمج: أفراد-شهور = ٢،٤ (ألف سطر من التعليمات المسلمة)$^{١،٠٥}$

مدة التطوير = ٢،٥ (أفراد-شهور)$^{٠،٣٨}$

ب___برمج: أفراد-شهور = ٣،٠ (ألف سطر من التعليمات المسلمة)$^{١،١٢}$

مدة التطوير = ٢،٥ (أفراد-شهور)$^{٠،٣٥}$

م___برمج: أفراد-شهور = ٣،٦ (ألف سطر من التعليمات المسلمة)$^{١،٢٠}$

* Cocomo :Constructive Cost Model:

مدة التطوير = ٢،٥ (أفراد-،شهور)$^{٠،٣٢}$.

من ثم يتم تعديل هذه العلاقات وفق حجم البرامج.

٢- أسلوب التحصيص مرحلةً ونشاطاً: من ثم يعرض النموذج عدداً من مصفوفات تحصيص الجهد لكل مرحلة ونشاط في دورة الحياة.

أما أوجه النشاط التي تؤخذ بالاعتبار فهي: تحليل المتطلبات، والتصميم، والبرمجة، وتخطيط الاختبارات، والتحقق والمصادقة، وإدارة المشروع، وإدارة التكوين وإدارة الجودة والتوثيق.

وانطلاقاً من هذه المصفوفات، يمكننا إعادة تحصيص وتعديل هذه الأرقام وفق المنهج المتبع لمشروع خاص.

٣- الضبط النهائي للنموذج: يمكن الاكتفاء بالقيم التي يوردها النموذج الأساس إن كنا لا نطلب سوى القيم الأسية. إلا أن بوسعنا تعزيز تقديرنا للتكاليف وفق عدد من العوامل الثابتة ذات تأثير كبير على الإنتاجية، فالعوامل ال١٤ التي يراعيها النموذج هي: الخبرة بلغة البرمجة، القيود الزمنية، حجم البيانات، تفاعل مركز العمليات الحسابية، الخبرة ببيئة التشغيل، الخبرة بنموذج البرمجة، أدوات التطوير، تنفيذ البرمجة البنيوية، القيود الخاصة باحتقان الذاكرة، الخبرة بالتطبيق، القيود الخاصة بمدة الاستجابة، القيود الخاصة بسلامة التشغيل، مدى تعقيد التطبيق، وكفاءات فريق العمل والأفراد.

في هذه الدراسة، من المجدي مقارنة كيفية ترجيح النموذج لهذه العوامل:

البنيان: ٧،٣

كفاءة الفريق: ٤،١٨

أدوات التطوير: ٢،٦٩

يخلص هذا النموذج إذن إلى أنه ينبغي أولاً أن يكون ثمة مهندسون جيدون، ومن ثم فريق تطوير ناجح وأخيراً بعض الأدوات التي حُسن اختيارها.

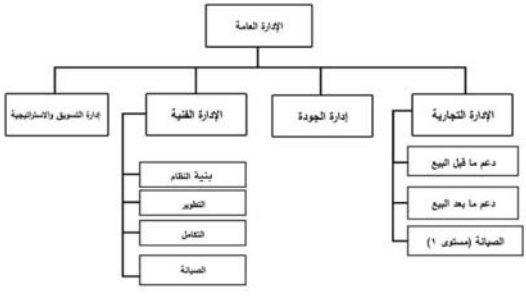
ثانياً : تنظيم عملية التطوير

التنظيم الإداري وفق المنتج/وفق المشروع: يحقق تنظيم عملية التطوير وظيفتين أساسيتين:

- وظيفة خاصة بتواصل جميع الأفراد المشاركين بشكل ما في سير المشروع (بضعة مئات عندما يكون المشروع كبير الحجم). ومن المفترض أن تكلف هذه المهمة الجهات المناسبة بمعالجة مختلف التحديات وأن تفسر القرارات المتخذة.
- وظيفة صنع القرار حينما توجد عدة حلول مناسبة لتحدٍ ما، وحينما ينبغي الاختيار بين تحقيق الربح المالي على المدى القريب والمتوسط والبعيد. ومن الشروط المسبقة لهذه الوظيفة، التنبه أولاً لوجود قرارات تمس المستقبل وإن بدت المشكلة المطروحة بادئ الأمر غير ذات أهمية.

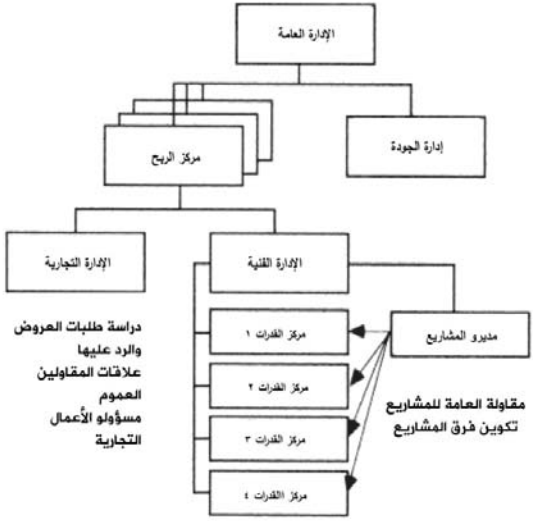
هذا وينبغي تكييف أسلوب التنظيم مع طبيعة التحديات المتوقعة للمشروع، دون التردد قط في تغييرها مع تطور التحديات. ويمكن ملاحظة مواطن اختلاف تنظيمي بين الحزم البرمجية وبين برمجيات التسليم الجاهز.

يأتي التنظيم الإداري الخاص بإصدار حزمة البرمجيات على الشكل التالي:



لا بد أن تهتم الشـركة المتخصصـة بحزم البرمجيات بالاستمرارية، وألا تفضـل قـط تحقيق الربحية المباشـرة على حسـاب مـدة حياة حزمة البرمجيات (إلا في حالات المراحل النهائية).

أما الشـركة المتخصصة بإصـدار برمجيات التسليم الجاهز (مفتاح باليد)، فتأتي بالشكل التالي:



ينبغي للشـركة المتخصصة بمشاريع التسـليم الجاهز أن تحقق أعلى مسـتوى من الربح في كل مشـروع تجاري؛ فالتحكـم بالتكاليف مهمة ذات أولويـة هنا. ويتم تطوير القدرات انطلاقاً من سـعر تكلفـة بعض الأعمال التي تراها الادارة العامة اسـتراتيجية، إذ تكون القدرات على صعيد تقني (قاعـدة البيانـات، الشـبكات، إلخ..) وعلى صـعيد قطاعي (مصـرف،

مراقبة طيران، زمن حقيقي، إلخ..).

في حال المشاريع الضخمة التي تقتضي الاستعانة بعدة فرق عمل، من الأهمية بمكان تبني أسلوب تنظيمي يسهل تناول التحديات وإناطة مستويات القرار المناسبة بها. فهو فن بالغ الصعوبة يقتضي مرونة في التفكير وملكات عقلية عظيمة، وقدرة متميزة على التواصل مع الآخرين، وقدرة حقيقية على صنع القرار وتطبيقه. ولا يوجد ما هو أسوأ من عدم القرار، إذ لا بد عاجلاً أم آجلاً من اتخاذ القرار. وإن لم يكن أسلوب التنظيم ملائماً، تم اتخاذ القرارات في مستويات غير مناسبة، بل ومن قبل المبرمجين في أسوأ الأحوال، ما قد يلحق ضرراً فادحاً بالجانب الاقتصادي الإجمالي للمشروع؛ وهذا أحد الأسباب الأولى لفشل المشاريع الضخمة.

إن حيازة مديري المشاريع المتمرسين شرط لا غنى عنه لنجاح أي عملية تطوير كبيرة.

ولجميع هذه المسائل بالغة الأهمية، نحيل القارئ إلى مؤلفينا : إنتاجية المبرجين (Productivité des programmeurs) وتكاليف ومدة المشاريع المعلوماتية (Couts et durée des projets informatiques) [١٧،٢١].

الفصل الثامن

مستقبل هندسة البرمجيات

يمكن تمييز ثلاث فترات في تطور هندسة البرمجيات.

فقد شهدت الفترة الأولى ظهور التقنيات والأساليب التي أتاحت برمجة أوائل التطبيقات المعلوماتية بشكل فاعل منذ أواخر الخمسينات. وقد سادت خلال هذه الفترة التي استمرت ٢٠ عاماً، لغات البرمجة ونظم إدارة قواعد البيانات، التي تشكل عماد هندسة البرمجيات. وكانت نهجاً مثل البرمجة البنيوية الاجتزائية، ونموذج علاقات الكيانات، من الثمار المحققة في هذه الفترة.

وبعيداً عن النجاح منقطع النظير الذي حققه النموذج العلائقي للبيانات (وحزم البرمجيات العديدة التي تدعمه)، فإن النتائج المحققة في مجال لغة البرمجة مغايرة تماماً. فمن المفارقات رجوع الثنائي سي/سي++ بعد سنوات عديدة من البحث والدراسة، وهما اللغتان التي أقل ما يمكن قوله إزاءهما أنهما ليست أفضل ما أنجزناه. ولم تُجد الملايين التي أنفقتها وزارة الدفاع الأمريكي نفعاً في دعم لغة أدا في هذا الصدد.

من ثم انطلقت مرحلة ثانية في مقتبل الثمانينات بظهور محطات العمل الأولى، إذ شاهدنا انتشار عروض أدوات بالغة التباين، التبست خلالها صورة هندسة البرمجيات شيئاً ما. وقد رسخت حينئذ فكرة إمكانية «حل» أزمة هندسة البرمجيات بالأدوات وذلك من خلال:

- بتجاهل نتائج الثورة التي أحدثتها الشبكات وتقنية المعلومات الصغرية*؛
- وتناسي حقيقة أن هذه الأدوات ستكون بين أيدي مستخدمين حقيقيين عاملين في مشاريع حقيقية لكل منها تحدياته الخاصة به.

وأتت خيبة الأمل بحجم الأهداف البعيدة عن الواقع التي تصور

* الصغرية = micro informatique:

البعض أنها قريبة المنال.

بيد أن ثمة أدوات جوهرية ابتُكرت خلال هذه الفترة، مثل إدارة التكوين، وأدوات هندسة البرمجيات بمساعدة الحاسوب لتطوير نظم المعلومات.

ثم كانت فترة ثالثة مع حقبة التسعينات، فترة تتسم بالعودة إلى الواقعية، الأمر الذي يتجسد في اتجاهين:

- عملية التطوير التي يحركها الفرد المنظم ضمن فريق عمل، هي الإطار المرجعي الذي لا غنى عنه الذي تتفعل فيه الأدوات والوسائل (وليس العكس كما ظن البعض بعيداً عن الحكمة)، وبات التكامل الآن يقوم بدور محوري تتبلور حوله سياسات الاقتناء وإعادة الاستخدام. وتتكامل عملية التطوير مع هندسة البرمجيات بمساعدة الحاسوب ؛
- يشكل كل من بنيان النظام البرمجي وسمة الوثوقية اللازمة له، التحدي الأول للسنوات المقبلة. وستقاس الأدوات والوسائل بهذا الواقع التقني المرير، التي لا فائدة من محاولة إخفائها لأن مسألة التعقيد قائمة في جميع الأحوال.

لا يوجد سوى خيار واحد: فإما أن تسهل الأدوات والوسائل بشكل ملموس عمل مهندس البرمجيات، وتحكم الإدارة بالمشاريع، فتستمر، وإما أن تتلاشى بكل بساطة مع كل من يروج لها. وينبغي النظر إلى خيبة الأمل العظيمة التي أحدثها الذكاء الاصطناعي، والتي كان يمكن التنبؤ بها، كتذكرة مفيدة بحقيقة عالم لا سهولة فيه.

لعل التحدي الحقيقي الذي يواجه هندسة البرمجيات، هو العمل على إبقاء النظم المعلوماتية التي باتت تحيط بنا من كل صوب، والتي بتنا نتفاعل معها على نحو متزايد، في خدمتنا وطوع منطقنا، فترتقي على وتيرتنا: ولا زال أمامنا الكثير الذي ينبغي إنجازه لتحقيق ذلك، وبخاصة في سياق التكامل والمصادقة والتحقق والاختبار، وهي الجوانب التي لا زالت السمات الأساسية للجودة.

تقنيــة المعلومات تعتمد أكثر مــن أي تقنية أخرى على مســتوى إعداد مهندســيها، فكمــا كان الحــال بالنســبة للمهندســين الالكترونيــين في الخمســينات، الذين كان عليهم تعزيز معرفتهم الأساسية بفصول جديدة في مجــال التحليل الرياضــي، ســيكون على المهندســين البرمجيين تطوير قدرتهم على تصور المفاهيم والتفكير التجريدي، والنمذجة، وتشييد نظم مــن الرموز، الأمر الذي يجعل تعليماً معمقاً لعلم المنطق أمراً لا غنى عنه. كما ينبغي أن يحتل كل من تقصــي أســباب الأخطاء، وتجنبها، الصــدارة في هندســة البرمجيــات. فــإن كان لا مفر من وجود الأخطــاء، فإن إنتهاء كل خطأ بخلل و/أو عطل أمر مهلك. كما أن دراســة مكثفة لمعايير الفعالية وغيرها من آليات سلامة الأداء شرط ضروري لموثوقية نظم المستقبل. كما أن كفاية هذا الشــرط أمر لا يتوقف إلا علينا: فهذا هدف هام في هندســة البرمجيات في الأعوام القادمة.

المراجع

[1] B. Boehm, Software engineering economics, Prentice Hall, 1981.

[1 . 1] B. Boehm et al., Software cost estimation with COCOMO II, Prentice

Hall, 2000.

[2] M. M. Lehman, L. A. Belady, Program evolution, processes of software

change, Academic Press, 1985.

[3] D. Knuth, Art of computer programming, Addison-Wesley, 1968.

[4] IEEE, Software engineering standards collection, et normes ISO

12207, 9126, 15504.

[5] J. Musa, A. Ianino, K. Okumoto, Software reliability : measurement,

prediction, application, McGraw-Hill, 1987.

[6] W. Humphrey, Managing the software process, Addison-Wesley,

1989.

[6 . 1] W. Humphrey, A discipline for software engineering, Addison-

Wesley, 1995.

[7] M. Shooman, Software engineering, design, reliability and management,

McGraw-Hill, 1983.

[8] I. Sommerville, Software engineering, Addison-Wesley, 1989.

[9] R. Pressman, Software engineering : A practitionner's approach,

McGraw-Hill, 1992.

[10] B. Kernighan, P. Plauger, Element of programming style, McGraw-

Hill, 1974.

[11] C. Jones, Programming productivity, McGraw-Hill, 1986.

[11 . 1] C. Jones, Estimating software costs, Mac Graw-Hill, 1998.

[12] J. Kowal, Analysing systems, Prentice Hall, 1986.

[13] P. Denning, J. Dennis, J. Qualitz, Machines, languages and computation,

Prentice Hall, 1978.

[13 . 1] Z. Mammeri, SDL, Hermès-Lavoisier, 2000. SDL est un langage

normalisé par l'UIT/CCITT depuis 1993.

[14] K. Nielsen, K. Shumate, Designing large real time systems with

Ada, McGraw-Hill, 1988.

[15] D. Tchiritzis, F. Lochovsky, Data models, Academic Press, 1982.

[15 . 1] T. Teorey, Databases modelling and design, Morgan Kaufmann,

1999.

[15 . 2] J. Gray, A. Reuter, Transaction processing : Concepts and techniques,

Morgan Kaufmann, 1993.

[16] B. Beizer, Software testing techniques, Van Norstrand Reinhold,

1989.

[16 . 1] R. Binder, Testing object-oriented systems, Addison-Wesley,

2000.

[17] J. Printz, Productivité des programmeurs et Coûts et durée des projets

informatiques, 2 vol. chez Hermès-Lavoisier, 2001.

[18] J. Printz, Puissance et limites des systèmes informatisés, Hermès-

Lavoisier, 1998.

[19] B. Meyer, Conception et programmation orientées objet, Eyrolles,

2000.

[20] OMG, Unified Modeling Language UML, Version 1.3, 1999, et s.

[21] J. Printz, Écosystème des projets informatiques, Hermès-Lavoisier,

2005.

قائمة المحتويات

عن الكتاب:

هندسة البرمجيات علم يهدف في نهاية المطاف إلى صنع أنظمة معلوماتية غالبًا ما تتسم بالتعقيد. ويُعين هذا التخصص المعرفي الشمولي القواعد والحدود -التي هي بمثابة شروط ضرورية- لسير عملية صنع هذه الأنظمة بشكل سليم؛ لذلك لا بد أن تنبثق هذه القواعد والحدود من الواقع العملي لتطوير البرمجيات، وأن تسعى دوماً إلى تحقيق عوامل فاعلية عملية التطوير ودلالة الأدوات التي تقترحها. ويمكّن هذا المؤلف القارئ -إذ يرسم مشهداً كاملاً للبيانات الاقتصادية والفنية لتطوير البرمجيات- من تعزيز إدراكه للتحدي الحقيقي الذي تواجهه هندسة البرمجيات؛ وهو ضمان بقاء الأنظمة المعلوماتية التي تحيط بنا من كل صوب قيد خدمتنا.

المؤلف:

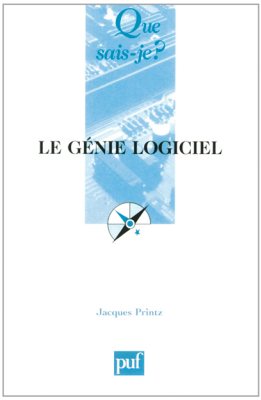
جاك برينتز

جاك برينتز هو أستاذ في المعهد الوطني للفنون والحرف.

المترجم:

أ.زينا مغربل

حاصلة على بكالوريوس في إدارة أنظمة المعلومات من جامعة مريلاند الأمريكية. تعمل في تعريب وترجمة العديد من المؤلفات مثل الكتب والمجلات من اللغات الإنجليزية والفرنسية، وبخاصة في مجالات العلوم والتقنية.



مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية KACST

تعمل مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية على توفير المعرفة للقارئ العربي. فقامت في هذا الإطار بنشر سلسلة من الكتب والمجلات العلمية وأتاحتها للقراء دون مقابل بصيغتيها الرقمية والورقية. فجميع إصدارات المدينة متاحة على موقعها الإلكتروني ليتمكن المتصفح من تحميلها أو قراءتها على الإنترنت.

هاتف: ٤٨٨٣٤٤٤ ٠١١ - ٤٨٨٣٥٥٥ ٠١١
فاكس: ٤٨٨٣٧٥٦ ٠١١
ص.ب. ٦٠٨٦ الرياض ١١٤٤٢
المملكة العربية السعودية
مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

الموقع الالكتروني: www.kacst.edu.sa
إصدارات المدينة: publications.kacst.edu.sa
البريد الالكتروني: awareness@kacst.edu.sa

مطابع مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية
رقم: ٣٣١١٠٨
ردمك: ٢-٧٩-٨٠٤٩-٦٠٣-٩٧٨