3. سفراء الكواكب

بحلول شهر أيار/مايو من عام 1992، كانت قد مرت علي ثمانية أعوام وأنا أبني مخلوقاتي الاصطناعية الخاصة. كانت بارعة وناجحة، لكنها لم تعثر على مكان مناسب لها خارج حدود المختبر الذي أعمل فيه. كنت متأكداً من قدرتها على تغيير أسلوب تفكيرنا بالإنسان الآلي، وطريقة تعاملنا مع الآلات، إلا أنها احتاجت إلى بيئة صالحة تقبلها.

وهكذا، تسللت في صباح أحد الأيام خارجاً من جلسة مؤتمر انعقد في سنتافي بولاية نيو مكسيكو حول الحياة الاصطناعية، وركبت الطائرة إلى لوس أنجلوس. كنت في طريقي لمقابلة واحد من أبطالي المثاليين في فترة المراهقة للمرة الأولى. أول إنسان يقود عربة على سطح القمر، وقائد رحلة أبولو 15، وكبير الطيارين المتخصصين في اختبار الطائرات في قاعدة ادواردز الجوية، ديفيد سكوت، الذي كان بانتظاري بسيارته «التويوتا» الحمراء،

الصغيرة والقديمة. لم يكن الزمن زمن أمجاد برنامج الفضاء، بل التمرد والعصيان. وبحلول الوقت الذي انتهينا فيه من طعام الغداء، كنت أنا وديفيد نحلق نحو إلى القمر، أو هذا ما فعلته على الأقل آلاتنا الذكية. الآن لدينا خطة لمخلوقاتي الاصطناعية، مكان ترتع فيه خارج جدران المختبر.

يقظة المخلوق الاصطناعي

حين كنت أساعد هانز مورافيتش في تجاربه المضنية في «مختبر ستانفورد للذكاء الاصطناعي»، تابعت أيضاً العمل في البحث الذي سأنال عليه درجة الدكتوراه، وموضوعه الرؤية الكومبيوترية اعتمادا على النموذج. وضعت في البرنامج الذي صممته نموذجا مسبقا ثلاثي الأبعاد للأشياء: الطائرة مثلاً كانت عبارة عن اسطوانة بجناحين وذيل على شكل شبه منحرف، ومحركين أسطوانيين. بعد ذلك حاولت في البرنامج العثور على أمثلة للنماذج في الصورة. كان برنامجي يتطلب ساعات لتشغيله على نفس كمبيوتر المختبر الذي يستخدمه هانز لمدة خمس عشرة دقيقة لتحليل كل واحدة من صور كاميرا «شيكي» . تخرجت، وتنقلت بين عدة مواقع للبحث العلمي في جامعة كارنيجي ميلون ومعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، ثم عملت في التدريس في ستانفورد ومعهد ماساتشوستس. خلال كل هذه الفترة كنت أجرب المقاربات المعتمدة على النموذج المسبق إزاء الآلات الذكية في مجال الصناعة، والرؤية الكمبيوترية، وتصميم السبيل الذي يتحرك عليه الإنسان الآلي. وحين أصبحت عضوا في الهيئة التدريسية لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا وعملت في مختبر الذكاء الاصطناعي في أيلول/ سبتمبر عام 1984، عقدت العزم على صنع إنسان آلي متحرك خاص بي.

خلال الأشهر القليلة الأولى وجدت في المختبر بيئة مناسبة لي وقمت بتجنيد الطلاب للعمل معي. أنيتا فلين، كانت طالبة متخرجة من المعهد

ومولعة بالرياضة، تركت الأكاديمية البحرية الأمريكية حين وجدت أن البحرية تتبنى سياسة تحظر على النساء قيادة الطائرات المقاتلة،الأمر الذي أثار سخطها وغضبها. ولم يخطر على بالها قط حين انتسبت إلى الأكاديمية أن البحرية التي أحبتها يمكن أن تتبع مثل هذا القانون «الشائن» إلى أبعد الحدود. بعد سنة من حفر الخنادق، قبلت في معهد ماساتشوستس وحصلت على شهادتها منه. أما بيتر نينغ، ابن أحد الديبلوماسيين التايوانيين، فكان طالبا يدرس الهندسة الكهربائية ويبحث عن موضوع لأطروحة سنته الرابعة. تلهف بيتر لبناء نظام معالج دقيق، وكنت خائفا قليلاً من ذلك الاحتمال. بدأت العمل مع ساثيا نارايانان، طالب جامعة ستانفورد الذي تبعني إلى معهد ماساتشوستس. كان يقوم بعدة نشاطات في مجالات مختلفة في وقت واحد، خصوصاً في برامج الحاسب ومكوناته الصلبة. على أية حال، لم يذكره زمهرير أول شتاء قضاه في كامبريدج بمدينته مدراس في جنوب الهند.

كنت بحاجة إلى هيكل للروبوت . شيء يتدحرج على الأرض. لم أكن متحمسا لصنع هيكل من «الخردة». لقد فعل هانز مورافيتش ذلك بعد أن حصل على الدكتوراه في جامعة كارنيجي ميلون عام 1980. تطلب الأمر منه أعواماً طويلة، وأموالاً طائلة، ولم يحقق بالمقابل نجاحاً يذكر. لم أكن راغباً بتكرار هذه العملية، ولذلك حاولت العثور على هيكل جاهز إن أمكن، أو الاستعانة بطلاب هانز في جامعة كارنيجي ميلون الذين بنوا بنجاح نظام تشغيل بسيطاً جداً في محاولتهم الثانية. لحسن الحظ، قابلت أنيتا بالصدفة غرينيل مور[1]، وهو ابن ترينشارد مور أحد الأشخاص الاثني عشر الذين

1. يعمل غرينيل الآن نائبا لرئيس شركتي «آي روبوت كوربوريشن» (I Robot Corporation)، كما يرأس «قسم العالم الحقيقي البيني» الذي يصنّع الإنسان الآلي لأغراض الأبحاث العلمية في المختبرات المنتشرة في كافة أرجاء العالم، ويطور ويسوق «الروبوت المديني». إحدى فئات الإنسان الآلي المستخدم في الأبحاث العلمية تتحدر (ميكانيكياً) بشكل مباشر

حضروا ورشة عمل دارتموث التي نظمها جون مكارثي عام 1956. كان غرينيل على خلاف مع مدرسته الثانوية حول طريقة التدريس، ووجه كل طاقته نحو شركة أسسها هو واثنان من أصدقائه . لبناء هياكل للروبوتات. عمل الثلاثة على تطوير روبوت أطلقوا عليه اسم «فيكتروبوت»، وهو عبارة عن أسطوانة يبلغ قطرها خمسة وأربعين سنتيمتراً بارتفاع خمسة وعشرين سنتيمتراً، ولها ثلاث عجلات توجه معاً وتتحرك معاً. ابتعت بسرعة واحداً من غرينيل، وقبل مرور وقت طويل ترك الصديقان الشركة من أجل وظيفة أكثر استقراراً، وبدأ غرينيل يتواجد في مختبرنا باستمرار.

اتخذت قاعدة الروبوت السرعة البسيطة والأوامر التوجيهية على خط تسلسلي. الآن، توجب علينا بناء بعض الحساسات على قمته وإجراء بعض الحسابات لوصل الحساسات بالمشغلات الميكانيكية. وقررنا استخدام حلقة من اثني عشر جهازا للأمواج الصوتية (سونار) كحساس (sensor) رئيسي. طورت أجهزة السونار هذه بواسطة شركة «بولاروید» لقياس المسافة التي تفصل عدسة آلة التصوير عن الهدف، بحيث تعدل كاميراتها (اس اكس 70) العدسة بشكل آلي. وهي تستطيع قياس المسافات التي تتراوح بين 30 سم وخمسة أمتار، مع تكرارية تبلغ حوالي سنتيمتر واحد، رغم أن دقتها الحقيقية أقل من ذلك بكثير. أردنا أيضاً تحميل كاميرتي تصوير على الإنسان الآلي بحيث يتمكن من رؤية بيئته المحيطة. ومن أجل توفير رؤية جيدة داخل الغرفة لهاتين الكاميرتين، توجب أن تكونا بارتفاع الخصر تقريباً. الأمر الذي كان يعني أن يزيد طول الروبوت على ارتفاع الطاولات والمكاتب، وأن

من «فيكتروبوت» الأصلي، رغم أن خط الإنتاج قد تنامى بصورة كبيرة. «الروبوت المديني» عبارة عن عربة صغيرة الحجم، يمكن إرسالها في مهمات استطلاعية، بحيث تتسلق سلم أي بناء مليء بالركام، وترسل صوراً بالفيديو عما يحدث فيه.

يكون ارتفاع أجهزة السونار مساويا لارتفاع سطح الطاولات تقريبا. وبتلك الطريقة يمكنها الحصول على أفضل فرصة لاستشعار الطاولات باعتبارها عوائق، بدلا من الاكتفاء برؤية الأرجل وجعل رأس الروبوت يرتطم بها عند محاولته التقدم عبر منتصف الطاولة. كانت نتيجة كل ذلك رجلا آليا أسطواني الشكل بحجم «أر تو دي توي». أصبحت مثل هذه الروبوتات شائعة في مختبرات الأبحاث هذه الأيام، لكن هذا كان من أوائلها. أطلقنا عليه اسم «ألان»، تكريما لألان نيوويل في جامعة كارنيجي ميلون، أحد الرواد في ميدان الذكاء الاصطناعي الذين شاركوا في ورشة عمل دارتموث.

من تجاربنا في العمل على «شيكي» و«كارت»، لم يخطر ببالنا قط أن نحمل الكمبيوتر على الروبوت. فتلك طريقة لم تتبع في مختبرات الذكاء الاصطناعي، كما أوضحت آنفا. فالحواسب الرئيسية في «مختبر الذكاء الاصطناعي» التابع لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا كانت في عامي 1984 و1985 مختلفة اختلافاً جذرياً عن تلك المستخدمة في باقي أنحاء العالم. كان هنالك حوالي عشرين آلة صنعت باليد داخل المختبر، جهز كل منها بنظام عرض بالبتات (bit-mapped display) (مثل أي جهاز كمبيوتر في الوقت الحالي)، وفأرة، مع وصله بمخدّم ملفات (file server)، بذاكرة رئيسية تبلغ 129 ك بايت، وذاكرة فعلية تعادل 16 ميغابايت. أما لغاتها الأصلية فكانت تعرف بـ«ليسب» (Lisp) وهي لغة برمجة تعبيرية مدهشة طورها جون مكارثي منذ عام 1959. ولذلك دعيت بـ«آلات ليسب». قررت استخدام واحدة كمعالج رئيس ووصلها بالروبوت عن طريق منفذ تسلسلي (serial port). أردت أن يكون الاتصال لاسلكيا، لكن برغم المحاولات الجسورة من قبل بعض طلاب المعهد الذين استخدمتهم، لم نتمكن أبداً من جعله يعمل بصورة مرضية إلى أن قمنا بتفكيك أول روبوت صنعناه. وقبل مرور عشرين سنة، أصبحت هذه الوصلات اللاسلكية الرقمية منتجات شائعة يستخدمها

المستهلكون في بيوتهم كل يوم، لكننا اضطررنا وقتئذ للاكتفاء بكبل بلغ طوله عشرين مترا. تمكن بيتر نينغ، بمساعدة المهندس الذي عمل لمدة طويلة في مختبر الذكاء الاصطناعي، نوبل لارسون، من بناء معالج دقيق بلوحة مفردة على متن الروبوت، وربطه بالخط التسلسلي الخارجي، والخط التسلسلي للمحركات، وحساسات السونار. وعمل المعالج الدقيق المحمول كمحطة مفاتيح تبديل تنقل البتات (bits) من وإلى الأماكن الصحيحة . لكنه لم يقم بالكثير من الحسابات بنفسه ولم يكن مفيداً كثيراً.

كنت أفكر بكيفية تنظيم عملية الحساب والتفكير والأتمتة للتحكم بالإنسان الآلي. وبطريقة ما، سوف يوصل النظام عمليات الإدراك الحسي التي تعالج المعطيات الخام الآتية من الحساسات مع عمليات التحريك التي تتحكم بالأوامر المرسلة إلى قاعدة الروبوت. أما السؤال فكان: كيف يمكن بناء هذا الصندوق الحسابي التقديري (computational box): أي ما هي العمليات الحسابية التي يقوم بها، وحجم التغذية الإرجاعية التي يجب أن تذهب إلى معالجات المدركات الحسية وتأتي من عمليات التحريك، وما هي الطريقة المثلى لتمثيل وتحديد عملياتها الحسابية. اعتبر العاملون هناك، على الأقل من الناحية غير الرسمية، أن هذا الصندوق هو «صندوق معرفي/ إدراكي»، أي مركز التفكير والذكاء. وقررت أن أفضل طريقة للتعامل مع هذا الصندوق هي إلغاؤه كليا، والاكتفاء بالاستشعار والحركة، بدون معرفة وإدراك. ذلك هو كل ما ينبغي صنعه، والتخلي كلية عن كل ما كان يعتبر تقليديا «ذكاءً» الذكاءِ الاصطناعي.

ما هو الذكاء بالضبط؟ التعاريف المعجمية تشير إلى القدرة على التعلم، أو فهم الحالات والأوضاع الجديدة، أو تطبيق المعرفة للتعامل ببراعة مع البيئة المحيطة. أما ربط هذه التعاريف مع المعيار الموضوعي

بحيث يمكن به تقييم الإنسان الآلي من ناحية تمتعه بالذكاء، فهي مهمة مرهقة وعقيمة على الأرجح. لكن بمقدورنا عقد بعض المقارنات. الكائن البشري مثلاً أكثر ذكاء من الكلب، والكلب أشد ذكاء من السمندل، والسمندل متفوق في الذكاء على النملة. ولربما نكون على استعداد للاعتراف بأن النملة أكثر ذكاء من الدمية التي تعمل بالزنبرك. لكن من الصعوبة بمكان تحديد وقياس ما يجعل أحد هذه المخلوقات أذكى من الآخر.

اعتبر الذكاء، تبعا للمشاريع المختارة في بدايات عهد الذكاء الاصطناعي، بأنه أفضل ما يميز الأشياء التي تمثل تحديا بالنسبة للعلماء الذين حصلوا على درجة عالية من التعليم. شملت هذه المشاريع الكمبيوتر الذي يلعب الشطرنج، وحل المشكلات المتكاملة التي يمكن أن تعترض المقررات التعليمية الحسابية في الجامعة، وكل مشكلة من المشكلات المعقدة في الجبر، وإثبات النظريات الرياضية. المهمات التي يؤديها الأطفال في الرابعة والخامسة من العمر من دون جهد يذكر، مثل التمييز البصري بين فنجان القهوة والكرسي، أو التجول سيرا على الأقدام، أو العثور على الطريق الواصل بين غرفة النوم وغرفة الجلوس، لم تعتبر أنشطة تحتاج إلى ذكاء. ولا كان هناك أية أحكام جمالية متضمنة في ذخيرة المهارات المعتمدة على الذكاء.

بحلول الثمانينات، أدرك معظم العاملين في مجال الذكاء الاصطناعي أن هذه المشكلات الأخيرة بالغة الصعوبة. كما توصل العديد منهم بعد مرور عشرين سنة إلى إدراك حقيقة أنها أصعب بكثير من المجموعات السابقة من المشكلات. النظر، والمشي، والتحرك، والحكم الجمالي، لا تتطلب جميعاً تفكيرا متميزاً، أو سلسلة من الاستنتاجات المنطقية. بل تحدث دون حاجة لكل ذلك.

للوهلة الأولى، كان قراري بالتخلي عن «الصندوق المعرفي» يشير على ما يبدو إلى التخلي عن فكرة أن الكمبيوتر الذي يلعب الشطرنج، ويقوم بالحساب التقديري، ويحل المشكلات، هو جزء من مسألة الذكاء التي أردت التعامل معها. في الحقيقة لم يكن ذلك قصدي. فقد بدا لي أن هذه الأنماط من القدرات الذكية تعتمد جميعاً على أساس المقدرة على النظر، والمشي، والتحرك، والحكم. واعتقدت حينذاك، وما زلت على اعتقادي اليوم، بأنها تنبثق من التفاعل بين الإدراك الحسي والفعل الحركي، وأن مفتاح الذكاء الأكثر عمومية هو أن نجعلها تعمل بطريقة صحيحة.

من منظور الإدراك المتأخر لما حدث، يمكنني أن أرى وجود عدد من العوامل التي اجتمعت معا لتوصلني إلى موقفي الراديكالي. فخلال سنواتي المبكرة، كحامل شهادة الدكتوراه في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، وكعضو مبتدئ في هيئة التدريس بجامعة ستانفورد، عملت على تطوير اهتمام لدى الطلبة بإجراء الأبحاث والاختبارات. كنت أراقب كيف يتعامل كل منهم مع مشكلة ما وأركز على الجزء الجوهري الذي يتفقون جميعاً عليه بحيث لا يشككون به مرة أخرى. ثم أبطل الاعتقاد المحوري الضمني وأرى إلى أين يؤدي. وتبين أن ذلك أمر مفيد في أغلب الأحوال. عملت لفترة سنة أو نحوها مع توماس لوزانو بيريز على الأنظمة الحسابية اللازمة للعثور على طرق تتفادى من خلالها أذرع «الروبوتات» الذكية الاصطدام في المصانع، وهي تتحرك في حيز مزدحم عند التعامل مع أجزاء الآلة المصنعة، أو لحمها، أو رشها بالصباغ. أدركت أن كل من كان يشتغل على هذه الأنظمة الحسابية قد ركز اهتمامه على مسألة كيف تبدو العوائق في الحيز الحقيقي كعوائق في الحيز الرياضي المجسم الذي يخضع لتحكم المحرك: الكل يركز على كيفية تمثيل وتجسيد هذه العوائق المجسمة. وبدلا من محاولة تمثيل المكان الذي تتواجد فيه هذه العوائق، قررت تمثيل الأماكن التي لا تتواجد

فيها. في أنظمتي الحسابية، توجب تمثيل المكان الآمن لتحرك ذراع الإنسان الآلي، وضمن هذه الحدود كان عليها أن تحاول التخطيط لمعبر مناسب لإنجاز العمل المطلوب. أفرز ذلك نتائج مفيدة وأدى إلى إنتاج بعض الأنظمة الحسابية العملية التي لم تكن موجودة من قبل.

في أوائل عام 1984، حينما كنت مدرساً في ستانفورد، أقام ساندي بينتلاند سلسلة من حلقات البحث في مبنى معهد ستانفورد الدولي للأبحاث. كانت السلسلة بعنوان «من نقاط الصورة إلى التنبؤات»[2]. تشير نقاط الصورة (pixels) إلى عناصر الصورة الأساسية التي نراها في الصورة الرقمية على شاشات أجهزة الكمبيوتر أو التلفزيون. مثل هذه الصور مكونة من مجموعة متعامدة من النقاط المربعة الصغيرة، تعطي كل منها بانتظام لونا محددا. ثم تقوم عيوننا بتفسير تجاور هذه النقاط في علاقتها بالأشياء في العالم الحقيقي. أما قسم التنبؤات في عنوان ساندي فيشير إلى نوع التمثيل الذي استخدمه «شيكي» للعالم. إذ استخدم قاعدة حسابية منطقية من المرتبة الأولى لتمثيل العالم. تفاصيل التمثيل ليست مهمة هنا، فيما عدا القول بإيجاز إن النماذج التي احتفظ بها «شيكي» لعالمه قُصد منها أن تشكل توصيفات كاملة للبيئة المادية المحيطة، بحيث يمكن للمخططات في النموذج أن تطابق العالم الخارجي بصورة صحيحة. كان الموضوع الأساسي في سلسلة حلقات البحث هو أن رؤية الحاسب (computer vision) لم تنجح في أخذ نقاط الصورة كمدخلات، وإنتاج التوصيفات الأساسية للعالم كمخرجات. لقد عرف الجميع أن ذلك هو الهدف النهائي لرؤية الحاسب. وحتى دافيد مار، العالم

2. في نهاية المطاف صدر كتاب حرره بينتلاند عن هذه السلسلة من حلقات البحث. أما بحثي المقدم في الكتاب فلم يشمل أياً من الأفكار الراديكالية التي قدمتها ذلك اليوم. بل كان بحثاً يساير عنوان السلسلة، اعتماداً على أطروحة سابقة لي لنيل شهادة الدكتوراه.

الأسطوري في مختبر الذكاء الاصطناعي التابع لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، أشار إلى ذلك بوضوح قبل موته المفاجئ عام 1980، حين أكد بأن المرحلة الأخيرة من الرؤية هي «تمثيل مركز (على الشيء) للبنية ثلاثية الأبعاد ولتنظيم الشكل المرئي، جنباً إلى جنب مع بعض التوصيف لخصائص السطح فيه. . .»[3].

تلقيت الدعوة لأحاضر في سلسلة حلقات البحث هذه على أساس عملي السابق. لكن بحلول ذلك الوقت، أصابني كثير من الإحباط في العمل. لم أعد اشتغل كثيراً حينذاك على نماذج الروبوتات الفعلية بسبب عمق وضخامة المشكلات الحسابية التقديرية المتعلقة بالحفاظ على التمثيلات التفصيلية للعالم. وبدا لي على نحو مطرد أن من المستحيل استخلاص كافة المعلومات من الصور أو غيرها من المدخلات القادمة من الحساسات، التي بدت نماذج العالم الداخلي بحاجة إليها من أجل أن تعمل عليها مخططات الحساب التقديرية بصورة صحيحة. من ناحية أخرى، لم تملك الحيوانات الحقيقة، ولا «سلاحف» غراي والتر الصناعية بالطبع، ما يكفي من القدرة العصبية للقيام بالحسابات التقديرية المعقدة والعديدة التي تتطلبها أنظمتنا الحسابية على ما يبدو. هنالك خطأ ما في مكان ما. وحين ألقيت محاضرتي في حلقة البحث، أشرت إلى أن الإدراك والفعل ربما يرتبطان برباط مباشر أوثق، دون أن أتحدث بالتفصيل عن نماذج العالم بينهما. فعلت ذلك من خلال عرض سلسلة من الصور الشفافة التي تظهر من خلال ضوء يشع من خلفها[4]، بعد أن قمت بإزالة «الصندوق المعرفي» الذي كان يربط تقليديا

3. انظر ص 38 من كتاب «رؤية» الذي صدر لمار عام 1982 بعد وفاته، والمدرج في قائمة «مراجع إضافية للقراءة» في نهاية هذا الفصل.

4. كنا نستخدم الصور المعروضة من خلال لوحات زجاجية شفافة في الأبحاث الأكاديمية قبل اختراع أجهزة عرض «باور بوينت» و«إل سي دي» .(PowerPoint and LCD)

بين الإدراك والفعل، الصندوق الذي افترض الجميع ضمنا ضرورة وجوده اللزومي. جسّد ذلك الاعتقاد المركزي الذي نفيته. صنعت للإدراك والفعل صندوقين أكبر حجما، اعتمادا على ما كان معروفا من حجم الدماغ المخصص لهما لدى الحيوانات، وجعلتهما يتداخلان ويتشابكان، من دون أي «صندوق معرفي» يجمعهما معا. وضعت الإدراك ضمن «غيمة» تمثل أفكار المراقب الخارجي المهتم بالنظام الكامل لتشغيل الإنسان الآلي: العالم المحيط، الإدراك الحسي، الفعل الحركي.

في الوقت الذي ألقيت فيه محاضرتي، لم أكن أمتلك الرؤية الواضحة . وسط الضباب الكثيف . لتصور كيفية بناء مثل هذا النظام. لكنني تمكنت فيما بعد، حين كان يجري صنع الروبوت «ألان» في معهد ماساتشوستس، من ابتكار طريقة للقيام بذلك. بدا لي أن الحشرات الزاحفة متفوقة في أدائها على أي إنسان آلي متحرك صنع حتى ذلك الوقت. فهي تتحرك بسرعات تتجاوز المتر بالثانية تقريباً بينما تتجنب العقبات والعراقيل، وتتفادى المفترسين، وتجد الطعام، وتعثر على الشريك للتزاوج، ولا تملك سوى بضعة آلاف أو ربما بضع مئات الآلاف من الخلايا العصبية، يقوم كل منها بعمليات الموازنة والحساب والتقدير ببطء شديد مقارنة بسرعة الكمبيوتر الرقمي. علاوة على أن عدد الخلايا العصبية التي تملكها الحشرة لا يؤهلها للتفوق كثيراً على القدرة الحسابية لأي كمبيوتر رقمي كبير الحجم. من الناحية النظرية على أقل تقدير، يجب أن نمتلك القدرة على صنع نظام تحكم للإنسان الآلي باستخدام كمبيوتر رقمي، يصل إلى مستويات أداء مشابهة. ما هو مفتاح الطريقة التي تنتظم فيها الأجهزة العصبية للحشرات بحيث يجعل أداءها على هذه الدرجة من النجاح والتناغم رغم قلة عمليات الحساب التقديرية (= التفكير) التي تقوم بها؟

خلال صيف عام 1985، مكثت لبضعة أسابيع في منزل خشبي «عائم»

على نهر في جنوب تايلند، بناء على نصيحة بعض الأقرباء حرصا على سلامتي. وفي حين أن كل من حولي قد انشغل في محاولة التكلم باللغة التايلندية، قضيت أنا ساعات وساعات كل يوم مستغرقا في التفكير. بدأت برسم مخططات تقليدية عن الكيفية التي ينبغي بها تنظيم عمليات الحساب والتفكير التقديرية للروبوتات. رسمت صناديق تخرج منها أسهم. يمثل كل صندوق عملية تفكير حسابية ينبغي إجراؤها، ويجسد كل سهم تدفقا للمعلومات، خارجة من صندوق، موجهة كمدخلات نحو صندوق آخر أو أكثر. مثل هذه الصناديق والمؤشرات البيانية كانت، ومازالت، شائعة على نطاق واسع. كل صندوق يمثل مخططا لعملية حسابية تقديرية واسعة النطاق قد تتطلب بضع ثوان أو أكثر في الكمبيوتر الرئيسي. حين ينظر المرء إلى هذه المخططات البيانية، مع الصناديق المتعددة على الخط الفاصل بين الحساسات والمشغلات الميكانيكية، يتوضح له أن النظام سيكون شديد البطء وضعيف القدرة على الاستجابة للبيئة المحيطة، وذلك على العكس من الحشرات. ثم خطرت الفكرة على بالي بالتدريج. علي أن أجعل عمليات الحساب والتفكير أبسط، بحيث يتطلب ما يجب أن يحدث في النهاية في كل صندوق بضعة أجزاء من الألف من الثانية. لكن بدلا من تعويض ذلك عبر صنع آلاف الصناديق، أدركت أنني يمكن أن أنجح من خلال الاكتفاء بصنع بضعة صناديق قليلة أو حتى صندوقين بسيطين فقط، أي تقريباً نفس العدد الذي وضعته في المخططات الأصلية التي رسمتها. كان مفتاح الحل يتمثل في عدم الحاجة لصنع/ والحفاظ على نموذج تفصيلي بالكمبيوتر للعالم داخل الإنسان الآلي لكي نجعله يستجيب لحساساته بسرعة. بل يمكن الاكتفاء بالإشارة إلى العالم الفعلي عن طريق حساساته حين يحتاج لمعرفة ما يحدث حوله. ذلك هو الاستخدام الثاني لخطتي الموجهة نحو الاكتشاف.

إذا كان بناء نموذج داخلي للعالم والحفاظ عليه عملية صعبة تستنفذ

الطاقات الحسابية، فلنتخلص إذن من ذلك النموذج الداخلي. صحيح أن كل إنسان آلي صنع حتى ذلك الوقت كان مجهزا بنموذج داخلي، لكن لم يتضح ما إذا كان في الحشرات مثله. إذن، لِمَ تحتاجه بالضرورة الروبوتات التي صنعناها؟

ظلت المشكلة تتمثل في كيفية تنظيم هذه الصناديق الحسابية بطريقة عمومية. مرة أخرى، كان التفكير بالحشرات يقدم رؤى مفيدة. فهي ترتقي وتتطور، مثلها مثل كل المخلوقات، بمرور الزمن. إذ لم تظهر في البدء مكتملة الشكل وكاملة القدرات، ولا بقيت جامدة كما هي عبر مئات أو آلاف الأجيال. في بعض الظروف بالطبع وهنت القدرات وذوت حين لم يعد ثمة حاجة إليها (لم نعد نحن البشر بحاجة إلى هضم العشب، ولذلك تقلص حجم الزائدة الدودية لدينا ولم يعد لها دور في الجهاز الهضمي). لكن على وجه العموم، بنيت القدرات المعقدة فوق القدرات الأبسط والأقل تعقيدا، من خلال العصبونات (الخلايا العصبية) الجديدة في أغلب الأحوال.

تلك كانت الاستعارة المجازية التي اخترتها للروبوتات التي صنعتها. قمت بصنع أجهزة تحكم بسيطة لسلوك بسيط. ثم أضفت أجهزة تحكم جديدة للسلوك الأكثر تعقيدا، تاركا القديمة تعمل في مكانها المخصص. وإذا دعت الضرورة، يمكن لأجهزة التحكم الأحدث عهدا أن تصنف من حين لآخر قدرات النظام الأقدم حين تعرف بشكل أفضل كيف يجب على الإنسان الآلي التصرف. ولهذا، سوف تتراكم الطبقات واحدة بعد الأخرى، في محاكاة للعملية التاريخية للارتقاء الطبيعي لمزيد من الأجهزة العصبية المعقدة لدى الحيوانات الحقيقية.

بالنسبة لـ «ألان»، كنت أستهدف ثلاث طبقات. الأولى كانت جهاز تحكم للتأكد من أن الروبوت يتجنب الاتصال مع الأشياء الساكنة أو

المتحركة. كان ذلك يعني أن عليه الابتعاد عن الأشياء التي تستشعرها حساساته بغض النظر عما إذا كان يحاول التحرك نحو اتجاه معين، أو إذا اقترب شيء أو شخص منه. الطبقة الثانية تعطي الروبوت «شهوة التجوال»، بحيث يتحرك هنا وهناك على غير هدى. وبسبب وجود نظام تحكم من مستوى أدنى يجنبه الاتصال بالأشياء، يمكن لعملية التجول على غير هدى أن تصبح بسيطة جداً دون الحاجة للقلق من الاصطدام. الطبقة الثالثة هي استكشاف العالم بشكل هادف كلما تلقى عبر الحساسات أي شيء يثير الاهتمام في المدى المفتوح أمامه . لسوف ينطلق في ذلك الاتجاه. مرة أخرى، لا ينبغي أن نقلق في هذا المستوى الثالث حول مسألة تجنب الاصطدام، لأن الطبقة الأدنى أو الأكثر بدائية من التحكم هي التي تهتم بهذا الأمر. وإذا لم تتلق طبقة الاستكشاف ما يثير الروبوت للذهاب والاستكشاف، تأخذ طبقة التجول على غير هدى زمام السيطرة وتسمح له بالتنقل هنا وهناك إلى أن تجد الطبقة العليا شيئاً يستحق الاهتمام.

ذلك هو «فن العمارة» (دعي بـ«العمارة التصنيفية») الذي ارتكزت عليه عملية بناء «مخلوقاتي» الاصطناعية. وجرى التعبير عن أجهزتها العصبية بواسطة دارة من المخططات البيانية التي تصل بين عشرة عناصر حسابية بسيطة أو نحوها وبين حساسات المدخلات ومشغلات المخرجات الميكانيكية. تعاملت عناصر الدارة مع أسلاك المدخلات كمصادر تبث الإشارات المستمرة وتولد أخرى مشابهة على أسلاك مخرجاتها. طبقتُ بسرعة على «آلة الليسب»، التي كنا نستخدمها كحاسب رئيسي، نموذجا محاكيا للواقع (simulator) عمل وكأن كلا من هذه الصناديق الحسابية البسيطة تشتغل باستمرار وبشكل متفرع. في الواقع، كان ذلك أمراً سهلا نوعا ما. فقد أمضيت وقتاً أطول في صنع أداة لرسم صورة بيانية جيدة لمخطط الدارة، وأداة أخرى تراقب الوقت الذي يستغرقه الكمبيوتر لمحاكاة كل عنصر من

عناصر الدارة وتوفير عرض بياني حي للوقت الحقيقي لها. الأداة الأولى لم تكن ذات نفع كبير، في حين أظهرت الثانية أن محاكاة الدارة برمتها لم تستغرق أي وقت تقريبا. الآن كنت بحاجة فقط لأوصل كل شيء بإنسان آلي حقيقي. لكن الإنسان الآلي لم يكن جاهزا بعد رغم الجهد المضني الذي بذله كل من بيتر، وأنيتا، وساثيا.

قررت تطبيق نموذج يحاكي الإنسان الآلي الحقيقي، بما في ذلك بعض مبادئ علم الفيزياء لمحاكاة كيفية أداء أجهزة السونار. يمكن استخدام نظام التحكم الذي بنيته خصيصا للإنسان الآلي الحقيقي للتحكم بالنموذج الذي يحاكيه. وهذا أسلوب تقني شائع اليوم إلا أنه لم يكن منتشرا في تلك الأيام. وسرعان ما حصلت على نظام تحكم بدون عيوب. في العالم/النموذج المشابه للعالم الحقيقي كان من الممكن قيادة الإنسان الآلي وجعله يتجول هنا وهناك دون أن يصطدم بأي عقبة. وغدا بالمستطاع الحفاظ على سرعة نظرية (في النموذج المشابه للواقع) تبلغ حوالي نصف متر/ثا، والتشغيل بصورة متواصلة، دونما حاجة لأن يتوقف الإنسان الآلي «المشابه» ويفكر بالاحتمالات. كان هذا الإنسان الآلي المصطنع كنموذج يحاكي الواقع متفوقا في الأداء على «كارت» و«هيلاري». لكن الأهم من ذلك أن باستطاعتي وضع عوائق افتراضية تحاكي العوائق الحقيقية وينجح الإنسان الآلي «الزائف» بتفاديها وهو يتجول في العالم الافتراضي بطريقة لا يستطيع القيام بها أي إنسان آلي موجود آنذاك ـ أي العمل ضمن بيئة محيطة تتغير بصورة دينامية. لمَ استطاع الروبوت الذي صنعته كنموذج افتراضي التعامل معها؟ لأنه استخدم البيئة المحيطة كنموذج له، ولم يرجع أبداً إلى توصيف داخلي مسبق للعالم يصبح بسرعة قديما وغير ذي صلة بالواقع إن تحرك أي شيء في العالم الحقيقي.

في شهر تشرين الأول/أكتوبر من عام 1985، انعقدت الندوة العالمية

الثانية لأبحاث علم الآليات في فرنسا. أما الندوة الأولى فقد نظمها مايكل برادي من مختبر الذكاء الاصطناعي التابع لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا عام 1983، في بريتون وودز بولاية نيو هامبشير. وتمثلت فكرة الندوة في جمع أشهر المبتكرين الخمسين في مجال أبحاث الإنسان الآلي من كافة أرجاء العالم لحضور أسبوع مكثف من المناقشات والعروض. دعيت للندوة الأولى بسبب عملي على الإنسان الآلي في المجال الصناعي في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا حين شغلت هناك منصب عالم متخصص في مجال الأبحاث بين عامي 1981-1983. وعلى خلفية عملي السابق دعيت مرة أخرى عام 1985. كنت بأمس الحاجة لجعل «ألان» يعمل بصورة مرضية قبل المؤتمر بحيث أتمكن من إظهار طريقته الجديدة والمختلفة في الأداء. لكنه فشل في ذلك حين أزف وقت تقديم أوراق البحث، ولهذا لم أستطع سوى تقديم بعض النتائج المستخلصة من النموذج المحاكي للواقع. تمكنت بعد جهد جهيد من جعل «ألان» يقوم ببعض الأعمال قبل السفر إلى فرنسا، وحملت معي بعض صور الفيديو الرديئة لأولى تحركاته. فقد استطاع التنقل عبر الممرات بخطوات رشيقة، والمرور بين الجدران. كما تفادى المارة العابرين، وتمكن من الاختلاط بجماعة من الناس تطوقه من ثلاث جهات بحيث لم يكن أمامه سوى اتجاه واحد للمرور دون التسبب باصطدام. كان «ألان» إنسانا آليا رائعا.

عندما حان دوري في المؤتمر، نهضت وشرحت كيف صنعت إنسانا آليا ذكيا اعتمادا على رفض الاعتقاد الرئيسي المهيمن على الذكاء الاصطناعي. فقد ألغى النظام الذي تبنيته أية عملية للاستنتاج المنطقي، أو المرور عبر سلسلة التفكير. بدلا من ذلك، اعتمدت بشكل كلي على النشاط البعيد عن التفكير، والربط المباشر بين الإدراك الحسي والفعل الحركي. وزعمت أن إنساني الآلي تفوق في الأداء على أي روبوت صنع من قبل

باستخدام المقاربة القديمة. وبدون أن أصرح بشكل واضح، كنت أعني أن كل العمل السابق في مجال الذكاء الاصطناعي كان مضللا، وأن مقاربتي الجديدة سوف تغير كل شيء.

كان جورج جيرالت، الذائع الصيت بسبب الروبوت «هيلاري»، ورئيس المؤتمر، يجلس في مؤخرة القاعة مع روزينا بايسكي، رئيسة مختبر الإنسان الآلي في جامعة بنسلفانيا (وترأس اليوم قسم علم الحواسب الإلكترونية في مؤسسة العلوم الوطنية). أخبرتني روزينا بعد عدة سنوات أنها كانت تتهامس مع جورج خلال العرض الذي قدمته قائلين لبعضهما بعضا: «لمَ يتعمد هذا الشاب تضييع حياته المهنية؟». في صور الفيديو، ظهر أن الروبوت الذي صنعته يتفوق في الأداء على كل نظرائه السابقين، إذا ما نظر إليه المرء كمراقب خارجي. لكنه فعل ذلك بطريقة بسيطة جدا! لم يقبل الحضور حقيقة أن ذلك يمثل عملا جادا. فقد قام بالعديد من المهمات بطريقة أسرع من أي إنسان آلي سابق. إنما لم يكن هناك أعداد هائلة من المعادلات، ولا أنظمة حسابية معقدة ومتعددة، مطبقة عليه. لا يمكن لهذا أن يكون بحثا جادا في مجال الإنسان الآلي! ذلك هو السبب الذي دفعني للخروج على التيار الرئيسي للبحث العلمي المتصل بالروبوتات. الجدالات والنقاشات والحجج التي بدأت حينذاك مازالت مستمرة حتى الآن. لقد شكل الحديث الذي دار في ذلك اليوم نقطة التحول في حياتي المهنية والأكاديمية. وأواجه اليوم مع طلابي نفس الحجج والبراهين حين نعرض الروبوتات التي صنعناها بشكل تشابه البشر الحقيقيين وتتفاعل معهم بطرائق تشبه طرائقهم، لكن بسلوك يتولد عبر قواعد وقوانين بسيطة نسبيا، مؤسسة على عمليات إدراك حسابية مكثفة.

رجعت إلى معهد ماستشوستس للتكنولوجيا والإثارة تملأ كياني حول وجهة عملي بصورة لم أعهدها من قبل. لقد خضت معركة، وكان الأمر

مسليا. عرفت بأنني أحتاج كي أثبت وجودي إلى نشر عملي الجديد في المجلات. كانت هنالك مجلة جديدة تدعى «روبوتيكس أند أوتومايشن» «علم الآليات والأتمتة» (Robotics and Automation)، أرسلت لها نسخة حديثة من ورقة البحث التي قدمتها في ندوة فرنسا، معنونة باسم رئيس التحرير جورج بيكي من جامعة جنوب كاليفورنيا. أرسل بيكي البحث إلى ثلاثة مراجعين أوصوا جميعاً برفض النشر. كان البحث سابقاً لعصره، ومبالغا في التبسيط، ولم تختبر مقولاته بشكل كاف. على أية حال، قبلت ورقة البحث في نهاية المطاف، ونشرت في نيسان/أبريل من عام 1986. ثم أصبحت واحدة من أكثر المصادر المرجعية استخداما[5] في علم الإنسان الآلي والحاسب الإلكتروني.

انضم إلى مجموعتنا طالب جديد يحضر لنيل شهادة الدكتوراه، اسمه جوناثان كونيل. في البداية، أضاف كونيل مزيدا من طبقات التحكم على «ألان» بحيث يتمكن من متابعة الجدران المنتصبة أمامه، والعثور على المداخل والأبواب، واستخدام طريقة منهجية لاستكشاف مناطق المكاتب. لكننا سرعان ما بلغنا الحدود القصوى لحساسات السونار التي وضعناها على «جسد» «ألان»، وأردنا إنسانا آليا يمكن أن يبرع في التعامل مع البيئة المحيطة بطريقة ما، وليس مجرد الاكتفاء بالتجوال فيها.

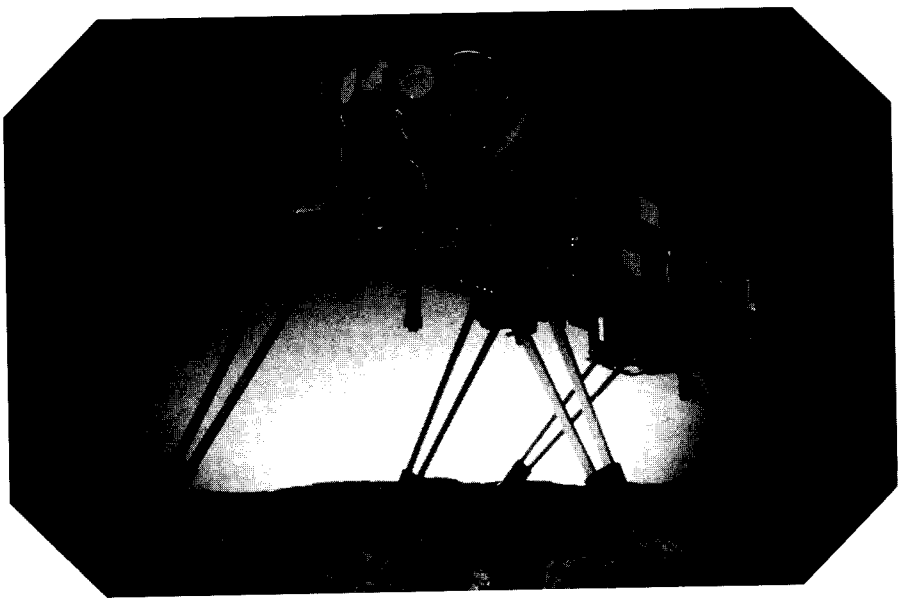
بدأنا العمل على إنسان آلي جديد دعوناه «هيربرت» نسبة لهيربرت سايمون، زميل ألان نيويل في كارنيجي ميلون. سوف يحمل هذا الروبوت على «جسده» كافة عمليات المعالجة، مستخدما أجهزة معالجة بسيطة باستطاعة 8 بتات، وجهاز مسح ليزري لتلقي المعطيات ثلاثية الأبعاد، وذراع

5. أعيد نشرها في كتابي (Cambrian Intelligence)، المشار إليه كمرجع في نهاية هذا الفصل.

لالتقاط الأشياء من على سطح الطاولات والأرض. تمثلت مهمة «هيربرت» في العثور على علب الصودا الفارغة على سطح الطاولة وتجميعها. أثار «هيربرت» خلال «عمره» جدلا خلافيا أشد من ذلك الذي احتدم حول «ألان»، لكن أهم إسهام أضافه إلى الخط الذي نتبعه هنا هو تمهيد السبيل تقنياً لـ«جنكيز»، أنجح إنسان آلي صنعته. أصبحنا بعد بناء «هيربرت» أول مجموعة تعمل في مجال تصنيع الروبوتات المتحرك وتملك أكثر من واحد منها. ومثلما هو الحال مع الأطفال، فإنك حالما تتحرر من إسار «المحرم» (taboo) الذي يمنعك من صنع الروبوت الثاني، فلسوف يسهل عليك باطراد صنع المزيد. كما وفر كل ذلك لنا خبرة جيدة سوف تفيدنا في تحميل أجهزة الحساب و«التفكير» على «جسد» الروبوت نفسه.

الروبوت الذي يمشي

في أوائل عام 1988، كانت مجموعتنا البحثية تعمل على تصنيع عدة روبوتات. زودنا أحدها بذراع، وآخر برؤية «مبصرة»، وثالثا بجهاز مسح ليزري، وتمكن اثنان آخران من مطاردة بعضهما بعضا. لكنها جميعاً كانت تسير على عجلات، ولم يكن أحدها يمشي على أرجل كحال الغالبية الساحقة من الحيوانات البرية. لم تصنع في تلك الفترة سوى حفنة قليلة من «المخلوقات» الآلية القادرة على السير، أنجحها الإنسان الآلي الذي صنعه مارك ريبرت، الذي كان يعمل أيضاً في مختبر الذكاء الاصطناعي التابع لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا. كانت المخلوقات الآلية التي صنعها تثب على ساقين أو أكثر، وتوجب عليها الاستمرار في التحرك بسرعة للحفاظ على توازنها. لم تزود سوى حفنة قليلة من مخلوقات مارك الاصطناعية بأرجل مفصلية، لكن كل خطوة تخطوها تتطلب بضع ثوان أو أكثر. وكانت جميعاً، بغض النظر عما إذا استطاعت الوثب أم لا، تسير أو تجري على



الشكل 1: الإنسان الآلي «جنكيز» بأرجله الست وشكله الأشبه بالحشرة المجسات الحساسة الكهروحرارية الموجودة في المقدمة تسمح له باستشعار الحرارة المنبعثة من أجسام الثدييات.

خط مستقيم، وليس لها من هدف سوى استعراض قدرتها على المشي.

تساءلت عما إذا كان باستطاعتنا صنع إنسان آلي قادر على المشي وأداء أعمال تتجاوز ذلك. لكنني احتجت أولا إلى افتراض ضمني لأقوم بنفيه. ما هي الفكرة السائدة التي يفترضها الجميع وتجعل الأمور أكثر سهولة بواسطة نفيها؟ بينما كنت أشاهد أفلاما على الفيديو تصور الحشرات وهي تزحف وتدب على الأرض الوعرة، لاحظت أنها في العديد من المرات تتعثر حين لا تضع قدمها على الأرض بصورة صحيحة. كان هذا هو المفتاح. فقد افترض الجميع أن الإنسان الآلي القادر على المشي يحتاج إلى البقاء متوازنا. ماذا لو تركناه يسقط على الأرض بعد أن يترنح ويتعثر، ثم يدب، كحال الحشرات الزاحفة تماما؟

غرينيل مور، الذي كان يعمل يوما واحدا في الأسبوع في مختبرنا، تمكن بسرعة من صنع روبوت يسير على ساقين، ويجرجر ذيله على الأرض. استطعنا تشغيله بواسطة جهاز تحكم يستخدم في التحكم بنموذج مصغر لطائرة، ووجدنا أن من الممكن جعله ينطلق بسهولة على الأسطح التي يصعب المسير عليها. أما كولن أنجل[6]، فكان طالبا جديدا في مختبري. قررنا، أنا وهو وغرينيل، صنع روبوت بست أرجل، بحيث نرتب كل ثلاث أرجل متماثلة على جانبي العمود الفقري المستقيم بشكل متناظر. غرينيل صنع الهيكل الميكانيكي للروبوت، بينما بنى كولن نظاما كومبيوتريا من أربعة أجهزة معالجة محملة على «جسده»، وقمت أنا بعملية البرمجة. في نهاية المطاف، أطلقنا عليه اسم «جنكيز» (انظر الشكل 1)، لأنه استطاع المشي قدما ومغالبة أي شيء يعترض سبيله وهو يلاحق شخصا من الأشخاص، تجذبه في ذلك الأشعة تحت الحمراء غير المرئية التي تطلقها عادة أجساد الحيوانات الثديية ذات الدم الحار.

يظل «جنكيز»[7] حتى هذا اليوم أكثر إنسان آلي حظي برضاي وقبولي. كان مخلوقا اصطناعيا بالفعل، ويبدو كحشرة بست أرجل. حشرة ضخمة بست أرجل. حشرة تلتصق بالأرض و«تدب» بطريقة خرقاء قليلا. أما واجهة المستخدم (user interface) فلها وضعيتان: تشغيل وإقفال. حين تكون في وضعية الإقفال، تجلس «الحشرة الآلية» على الأرض وقد مدت أرجلها. أما في وضعية التشغيل، فتنهض وتنتظر رؤية مصدر متحرك للأشعة تحت الحمراء. وحالما تلتقط حساساتها الستة منظر شيء ما، تنطلق نحوه. وطالما

6. شارك كولن أنجيل في تأسيس شركتي «آي روبوت كوربوريشن»، وهو يشغل بها الآن منصب كبير الموظفين التنفيذيين.

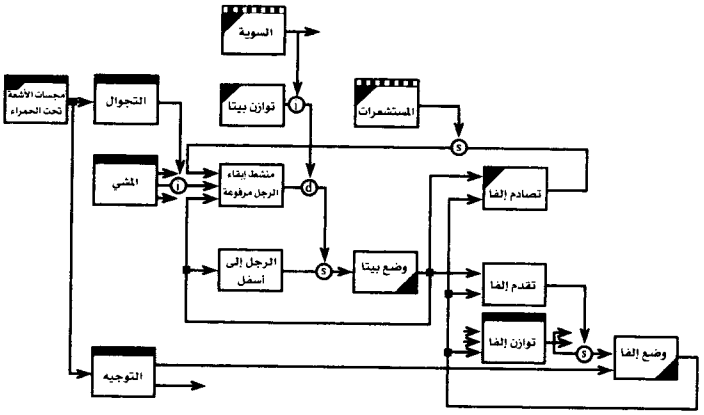
7. يربض «جنكيز» الآن في متحف الطيران والفضاء الوطني في واشنطن دي سي. وقد بقي هناك منذ منتصف التسعينات.

بقيت قادرة على اقتفاء أثر طريدتها تستمر في ملاحقتها، ولا تستطيع أية عقبة تقف في سبيلها أن تعيقها عن سعيها الدؤوب الذي لا يعرف التواني نحو هدفها. حين يوضع المفتاح في وضعية الإقفال، يتحول «جنكيز» إلى كومة لا حياة فيها من المعدن، والأسلاك، والأجهزة الإلكترونية. وحين يكون في وضعية التشغيل، يعود إلى الحياة مجددا! كان لـ«جنكيز» شخصية نزقة وإرادة مصممة تفتقد العقل. لكن له شخصية مميزة. فهو يطارد ويندفع ويزحف تبعا لإرادته، وليس تبعا لنزوة المتحكم البشري به. كان يتصرف كمخلوق حي، أو هكذا بدا بالنسبة لي وللآخرين الذين رأوه. كان بالفعل مخلوقا اصطناعيا ذكيا.

لقد أعطى شكل «جنكيز» بدون شك بعضا من السمات المميزة لشخصيته، رغم أنه لم يتجسد نتيجة قرار واع من ناحية التصميم اتخذته أنا أو غرينيل أو كولن. الأهم من ذلك أن برامج الحاسب الإلكتروني منحته «الحياة». فهو يتصرف بطرائق تبدو مفعمة بالحياة ـ مثل أي مخلوق حي يجد نفسه في ظروف مشابهة.

برامج الكمبيوتر لا تشابه الحياة بالطبع. لكن حين تنظم بالأسلوب الصحيح يمكن أن تعطي للإنسان الآلي سلوكا مشابها لسلوك الكائنات الحية ـ أي يمكنها أن تعبر الحدود الفاصلة بين مسلك الآلة (الذي نعزوه الآن لبرامج الحاسب الإلكتروني) وبين مسلك الحيوان. والملحق الموجود في نهاية هذا الكتاب يحدد بشكل كامل البرنامج الذي جعل «جنكيز» يعمل ويشتغل. أما في هذا الفصل فلسوف نتفحص جزءا يسيرا من هذا البرنامج لإظهار كيف يمكن الانتقال من مسلك الآلة إلى مسلك الحيوان.

لم ينظم برنامج الحاسب الإلكتروني المصمم من أجل «جنكيز» كبرنامج مفرد، بل كبرامج صغيرة متفرعة بلغ عددها واحدا وخمسين،



الشكل 2 المخطط الصندوقي: يظهر (الشكل 2) إحدى وخمسين آلة من آلات دعم الوضع النهائي (AFSMS) التي تحول «جنكيز» إلى مخلوق اصطناعي متكامل، لا مجرد أكوام من المواد المعدنية والبلاستيكية ورقائق السيليكون. ترمز الصناديق التي يعلوها خط ثخين أسود إلى آلات استثنائية وفريدة من نوعها، في حين ترمز الصناديق ذوات الإطار العادي إلى ست نسخ من نفس الآلة، تتوزع كل منها على رجل من أرجل «جنكيز». أما الصندوقان اللذان يعلوهما سقف مخطط فهما آلتا تناظر، أمامي - خلفي ويميني - يساري. الصناديق التي تحوي مثلثا في الزاوية العليا جهة اليسار هي آلات تتلقى مدخلات من واحد أو اكثر من الحساسات، بينما تشير الصناديق التي تحوي مثلثا في الزاوية السفلى جهة اليمين إلى آلات تصدر مخرجات أوامر التحكم بالمحرك. ويظهر الشكل أيضاً ثلاثة مخرجات وثلاثة مدخلات، مع أنها في الواقع ستة مخرجات وستة مدخلات، تشكل مداخل مروحية ومخارج مروحية إلى النسخ الست من الدارات المحلية الموزعة على كل رجل.

وجرى تصميمها اعتمادا على بعض المبادئ التقليدية في علم الحاسب الإلكتروني. دعونا هذه البرامج بـ«آلات دعم الوضع النهائي» (AFSMs).

في حالتنا الخاصة، كان كل من هذه البرامج مشابها في تعقيده لبرنامج الكمبيوتر الذي يسيّر آلة بيع زجاجات المياه الغازية، برنامج يمكن أن يكون بوضعية واحدة أو اثنتين، ويمكن أن يخزن واحدا أو اثنين من الأرقام الثلاثية. البرنامج الذي يسير آلة بيع هذه الزجاجات يكون إما في الوضعية التي تشير إلى أن هنالك ما يكفي من النقود قد وضع في الآلة، أو ليس كافيا بعد. في كلتا الحالتين، سوف تقبل الآلة مزيداً من النقود وتحتفظ بمجموع ما وضع فيها بواسطة رقم ثلاثي مفرد (مثلا: 1،25 دولارا). إذا كانت الآلة في وضعية «النقود لا تكفي»، تتجاهل الاستجابة للأزرار التي

يختار فيه المشتري زجاجة معينة. أما في حالة وضعية «النقود كافية»، فإن الآلة تفتح باب التحكم للزجاجة المختارة حين يتم الضغط على زر الاختيار، وتطرح ثمن الزجاجة من المجموع الموجود لديها، وتفتح ممرات التحكم بقطع العملة المعدنية لتعيد المبلغ الصحيح المتبقي. بعد ذلك تتحول فورا إلى وضعية «النقود لا تكفي»، وتعيد وضع المجموع الموجود إلى الصفر. ليس هنالك شيء آخر يمكن لبرنامج التحكم بآلة بيع زجاجات/علب المشروبات الغازية أن يقوم به.

يظهر «الشكل 2» الشبكة التي تضم واحدا وخمسين من برامج الكمبيوتر (AFSMs) التي تتحكم بالإنسان الآلي «جنكيز». لا يتجاوز أي منها في تعقيد عمله البرنامج المتحكم بآلة بيع زجاجات المشروبات الغازية الذي أوجزناه آنفا. أما الفارق الوحيد فيتمثل في أن هذه البرامج (AFSMs) يمكن أن ترسل أعدادا لبعضها بعضا على أسلاك مثبتة. البرامج هي الصناديق في المخطط الصندوقي (المكون من الصناديق والأسهم) الذي رسمت تصميمه في تايلند، والممرات أو الأسلاك، من مدخل أحدها إلى مخرج الآخر هي الأسهم. يمكن أن نتخيل آلة بيع المشروبات الغازية تبعث برسالة إلى مركز الشركة المنتجة، ربما عبر اتصال بواسطة هاتف خليوي، كلما ابتاع أحدهم زجاجة، تخبره من خلالها بأن مخزونها من زجاجات الكولا مثلاً قد نقص واحدة. تلك هي الأنواع البسيطة من الرسائل التي تتبادلها برامج الكمبيوتر (AFSMs) في شبكة «جنكيز».

جرت كتابة برامج الكمبيوتر المستخدمة في «جنكيز» بأسلوب ثوري، والبرامج الثمانية والأربعون الأولى منها تسمح لـ«جنكيز» بالسير والزحف وشق طريقه فوق الأرض الوعرة، محافظا على توازنه في أغلب الأحوال ومستجيبا للعقبات التي تعترض سبيله. أهم ما يجب أن نعرفه حول ما يلي

ذلك هو أن آلة المشي، الظاهرة إلى يسار الشكل 2، مزودة بستة مخرجات تجعل الأرجل الست تتخذ خطواتها بالتسلسل. ولولا هذه الرسائل المتبادلة لوقف «جنكيز» دون حراك ولما حاول المشي.

الطبقة الأخيرة من طبقات السلوك توفرها ثلاثة من برامج الكمبيوتر الواحدة والخمسين (AFSMs)، دعوناها أجهزة الإحساس، والمطاردة، والتوجيه بواسطة الأشعة تحت الحمراء. هذه الطبقة السلوكية قادرة على تحويل «جنكيز» إلى «مفترس» يلاحق طريدته. فهي تبقيه في انتظار مصدر يشع بالحرارة ويقترب من مجاله، ثم يتوجه إلى ذلك المصدر، ويطارده مهما بلغت وعورة الأرض في مواجهته. هذه هي بالطبع التعبيرات الوصفية التي قد يستخدمها المراقب الخارجي حين يرى «جنكيز» يقوم بعمله. ومثلما يمكن للقارئ أن يخمن الآن، جرى تطبيق هذه الأنماط السلوكية بمكونات لم تكن بمثل هذا الوضوح والتبسيط.

آلة الحساسات التي تستقبل الأشعة تحت الحمراء تتلقى المدخلات من الحساسات الكهروحرارية (pyroelectric sensors) الستة الظاهرة للعيان بشكل واضح في مقدمة «جنكيز» في الشكل1. وكل واحد من هذه الحساسات يتخذ وضعية الإقفال في حالة عدم استكشاف شيء في الجهة التي يقابلها، ووضعية التشغيل إن تمكن من رؤية تغيير في الأشعة تحت الحمراء. هذه الحساسات مماثلة تماماً لتلك التي يستخدمها الناس كمجسات للحركة تنير المصابيح خارج بيوتهم، وجرى تعديلها لتلقي موجة الإشعاع التي تطلقها كل الثدييات ذات الدم الحار من أجسادها. ولهذا، كان أداء هذه الحساسات جيدا جداً في اكتشاف أي شخص متحرك في مجال رؤيتها. يمكن تقديم تعريف نظامي نوعاً ما لآلة الحساسات التي تتلقى الأشعة تحت الحمراء كالتالي:

آلة حساسات الأشعة تحت الحمراء. تخرج باستمرار لائحة[8] تنشطها الحساسات الكهروحرارية الستة خلال نصف الثانية السابقة.

يجري تغذية مخرجات آلة حساسات الأشعة تحت الحمراء كمدخلات للآلتين الباقيتين. الأولى هي آلة المطاردة:

المطاردة. المدخلات: لائحة المجس الحساس الكهروحراري. تخرج باستمرار رسالة كابحة، لكن إذا كان كل مجس حساس آخر مدرجاً في المدخلات، فهي تتوقف عن القيام بذلك لمدة خمس ثوان.

جرى وصل مخرج آلة المطاردة لكبح مخرجات آلة المشي في الوضعية المحددة. ولهذا، استهدف التأثير الجمعي للآلتين الجديدتين اللتين صنعناهما جعل «جنكيز» يتوقف في بحثه حين لا يرى مصدرا للأشعة تحت الحمراء أمامه.

حين تتواجد مصادر ترسل الأشعة تحت الحمراء في المجال المرئي المقابل للحساسات الكهروحرارية الموجهة للأمام دوما، عندها يبدأ الإنسان الآلي بالمشي لعدة ثوان، ويستمر في ذلك إن استمر في تلقي الأشعة ما تحت الحمراء. لنلاحظ الآن الطريقة التي يتم فيها التفاعل بين شكل الروبوت وآلات التحكم للتأثير في سلوكه النهائي. الحساسات الكهروحرارية موجهة للأمام، والروبوت يتحرك نحو الأمام. فإذا ما رأى نشاطا/ مصدراً يطلق الأشعة تحت الحمراء، فإنه يمشي باتجاه ذلك المصدر. يبدو الأمر بالنسبة للمراقب الخارجي وكأن الروبوت يرى المصدر أمامه، ويسير بإرادته الذاتية

8. في الواقع، تمثل اللائحة بواسطة عدد يقع بين 0-63، حيث يتمثل كل من «البتات» (bits) الستة بشكل مزدوج ومتصل بوضعية واحد من الحساسات.

باتجاه هذا المصدر. لكن إذا جرى تدوير الحساسات الكهروحرارية كي تسدد إلى المنطقة الواقعة خلف الإنسان الآلي فإنه يسير مبتعدا عن مصدر الأشعة ما تحت الحمراء. لا يملك «جنكيز» فكرة داخلية مسبقة تشير عليه بالسير باتجاه معين، فكل تحركاته جزء لا يتجزأ من عملية التفاعل بين حساساته ومشغلاته الميكانيكية، بواسطة برامج الكمبيوتر البسيطة التي لا عقل لها والتي قمنا بتصميمها له.

هنالك آلة أخرى تقوم بالتوجيه والقيادة، تتلقى المخرجات أيضاً من آلة حساسات الأشعة تحت الحمراء.

> التوجيه والقيادة. المدخلات: لائحة الحساسات الكهروحرارية. تحسب باستمرار عدد الحساسات اليسارية واليمينية التي تكون في وضعية التشغيل. إذا كان العدد أكبر في جهة اليسار، فإنها تبعث رسالة إلى الأرجل اليسارية للتحرك بخطوات قصيرة، والعكس بالعكس.

لنفكر لحظة حول تأثير التحرك بخطوات قصيرة من جانب واحد من جسد «جنكيز». إذا وقفت وتقدمت بخطوات عادية مبتدئا بقدمك اليسرى، ولكن بخطوات قصيرة بقدمك اليمنى، فلسوف ينعطف جسدك إلى اليمين. نفس الشيء ينطبق على «جنكيز». لهذا، تمكنت آلة التوجيه من قيادة «جنكيز» باتجاه أي مصدر للأشعة تحت الحمراء. ونظرا لأنه لا يمشي إلا إذا تمكن من رؤية مثل هذا المصدر، فإن النتيجة تمثلت في أنه سيمشي باتجاه أي مصدر للأشعة تحت الحمراء، وملاحقته إن تحرك. لكنه لم يعرف حتى إذا كان المصدر يتحرك، بل يكتفي بملاحقته.

الآن، سوف يجلس «جنكيز» وينتظر مصدرا متحركا للأشعة تحت الحمراء ليظهر ويمر أمامه. ومن ثم يبدأ بالمشي باتجاهه، متحركا يمنة ويسرة

لإبقاء الهدف ضمن مجال الرؤية، وينطلق متخطيا أية عقبة تعترض طريقه.

كانت آلات البرامج الثمانية والأربعين داخل «جنكيز» مماثلة تماماً لهذه البرامج الثلاثة الأخيرة من حيث افتقادها للذكاء والعقل. وبإمكانك قراءة كافة التفاصيل في الملحق إن أردت. لقد تميزت برامج الحاسب التي تتحكم بـ«جنكيز» بالبساطة الشديدة. فهي تشكيلة من الحسابات التقديرية المحلية البالغة البساطة، التي تمنح «الحياة» إلى ذلك الشيء الجامد، حين توضع معا في سياق الإنسان الآلي المادي. وهي تتجاوز الحدود الفاصلة بين الأحياء والجمادات. برنامج الحاسب ذاته ليس عويصا بالتأكيد، بل واضح المعالم. لكن سلوك البرنامج هو الذي يتصف بالتعقيد والعمق.

لنلاحظ أن السلوكيات المتطورة والمعقدة التي يمكن مشاهدتها في «جنكيز» لم تنعكس بصورة مباشرة في عمليات الحساب والتفكير التقديرية التي تقوم بها تشكيلة آلات الوضعية المحددة التي تجعله يتصرف على هذا النحو. لم يكن ثمة موقع يمثل طريدة «جنكيز» ومسارها، ولا المدى المفتوح أمامه، حيث يتوجب عليه الانطلاق والمشي والبحث. علاوة على ذلك، ليس ثمة موقع داخل أنظمة التحكم بـ«جنكيز» يمثل أي نية أو عزم على مطاردة شيء ما، أو أي هدف ينبغي الوصول إليه. لكن بالنسبة للمراقب الخارجي، يمثل كل ذلك أسهل الطرق لوصف سلوك «جنكيز».

هنالك سؤال فلسفي عميق يكمن عند هذه النقطة. إذا لم تتمثل مقاصد وأهداف «جنكيز» في أي موقع، فهل يملك أية مقاصد أو أهداف أصلا؟ أم هل يبدو في الظاهر فقط أنه يملك مثل هذه المقاصد والأهداف؟ مثل هذه الأسئلة تلح على سؤال إضافي هو: ما الذي يعنيه أن تُمثل الأهداف والمقاصد فعلا؟ هل من الضروري، ربما، أن نزود «جنكيز» ببرنامج مشابه لتفكير الإنسان أو ردة فعل الحشرات، كي يمتلك بصورة مشروعة مقاصد

وأهداف؟ لكن حتى في هذه الحالة، ستظهر المشكلة الصغير المتمثلة بالبنية التركيبية والنموذج الداخلي، وهل يحتاجان بدورهما لبرنامج تفكير مختزل. عند التعامل مع هذه الأسئلة من زاوية أخرى، نجد أن بإمكاننا تفحص دارات الحساب والتفكير لدى الحشرات الحقيقية. وحين نفعل ذلك، نعثر على دارات عصبية مشابهة، ليس لها تمثيلات واضحة للهدف أو المقصد، وإن كانت مرتبة ومنظمة بشكل مختلف. إذن، هل تملك الحشرة الحقيقية أهدافاً ومقاصد ونوايا، أم أن ذلك مجرد مبالغة في إضفاء الصفات البشرية عليها؟ إذا قلنا إنها لا تملك مقاصد وأهدافاً، يمكننا عندئذ تسلق ما يسمى بسلم الارتقاء الطبيعي وطرح أسئلة مشابهة عن الزواحف، والثدييات، والقرود، وأخيرا البشر. من النادر أن ينكر أي فيلسوف «قصدية» البشر، لكن بمقدور آخرين إنكار هذه القصدية لدى عدد من الأنواع الحيوانية من غير البشر.

بالرغم من أن «جنكيز» قد تصرف في سلوكه بأسلوب يشابه الحيوان، إلا أن «الفلاسفة» ـ محترفين وهواة ـ ربما وجدوا صعوبة كبيرة في أن يعزوا له مقاصد ونوايا وأهدافاً. ولسوف نعود إلى هذه المجموعة من الأسئلة بصيغ أخرى عديدة خلال بقية فصول هذا الكتاب.

المخلوقات الآلية «المتجسدة» و«الموجودة»

مثّل «جنكيز» بسلوكه الشبيه بمسلك الحشرات نقطة تحول في حياة مجموعة الباحثين الذين عملت معهم. وذلك حين صنعنا بسرعة العشرات من الروبوتات بعد تزويدها بآليات مختلفة وقدرات متباينة، إنما بالاعتماد على الأفكار المركزية التي تبدت أولا في «جنكيز». لقد كنا في كامبريدج، وكان إنجازنا بمثابة البداية لثورتنا «الكامبرية»، حيث اعتمدت المخلوقات الآلية التي صنعناها على كافة أنواع المخططات الهيكلية المختلفة اختلافا جوهريا،

إنما انطلاقا من المجموعة الأصلية من أفكارنا الأولية المتصلة بالتصميم. ومن المؤكد أن هاتين الحقيقيتين تبرران التورية اللفظية[9].

اعتمدت كافة الروبوتات التي صنعناها على مبدأين أساسيين: التواجد والتجسد. ولربما كان هذان التعبيران غامضين ومبهمين آنئذ، لكنني أرغب باستخدام التعريفين التاليين لهما:

> المخلوق أو الإنسان الآلي المتواجد هو الذي يعتبر جزءا من العالم، والذي لا يتعامل مع التوصيفات المجردة، بل يتفاعل من خلال حساساته (sensors) مع الواقع الفعلي للعالم المحيط الذي يؤثر تأثيرا مباشرا في سلوكه.

> أما المخلوق أو الإنسان الآلي المتجسد فهو الذي يمتلك جسما ماديا وخبرات عن العالم المحيط، على الأقل جزئيا، وذلك من خلال التأثير المباشر للعالم على ذلك الجسم. أما النوع الأكثر خصوصية من التجسد فيتكون حين يحوي ذلك الجسم المدى الكامل لقدرات الإنسان الآلي.

تبعا لهذين التعريفين، يعتبر نظام الحجز في الطائرات نظاما متواجدا لكنه غير متجسد. والروبوت الذي يقوم بعمل روتيني لا يحتاج إلى تفكير حين يرش الصباغ آليا حسب أنماط متكررة يعتبر متجسدا لكنه غير متواجد.

بيّن لنا عملنا مع «جنكيز» أهمية هذين المبدأين. فالإنسان الآلي التقليدي القادر على المشي، مثل ذاك الذي صنعه امبلر في جامعة كارنيجي ميلون، كان يبدأ بمسح المحيط الممتد أمامه للحصول على نموذج مكتمل ثلاثي الأبعاد. ومن ثم يخطط لمسار نظري مجرد له بين العوائق. وبعدها

9. أدين بالفضل إلى توني بريسكوت على الاقتراح اللغوي الأصلي.

يخطط أين يضع كل قدم بحيث يتبع جسده ذلك المسار، وبعد ذلك يخطط لعزم التدوير (torque) المطلوب في كل مفصل من مفاصله ليوجه قدميه إلى الأماكن الصحيحة بحيث يتبع جسده المسار المرغوب. أخيرا، يحرك قدميه. أما «جنكيز» فكان يبدأ بتحريك أقدامه. فتجسده، وتواجده المادي، يربطان الأرجل الست معا، بحيث أن كلا منها تتبع نمطها الخاص من النشاط، كما أن جسم «جنكيز» بكامله يتبع مسارا طارئا هو نتاج لكل أفعاله وتصرفاته ووضعه في العالم الخارجي. أما طبقة التحكم بملاحقة الطريدة المتوضعة في العالم المحيط فتقوم بتعديل السلوكيات الأدنى للأرجل بشكل فردي بحيث يمكن لـ«جنكيز» تنفيذ مهمته في العالم المحيط، ومتابعة الطريدة دونما حاجة إلى خطة مسبقة تحدد مساره أو كل حركة من حركاته.

نتيجة هذه العبر التي استخلصناها، تمكنا من إكمال السلوكيات المتبعة من قبل الروبوتات التي صنعناها بحسب تقليدنا القديم.

عند برمجة «هيربرت»، اختار جوناثان كونيل عمدا أن يجعله غير قادر على الاحتفاظ بذاكرة داخلية تتجاوز مدة ثلاث ثوان. لكن تمكن «هيربرت» من التجول في أرجاء المختبر، متعاملا معه كمتاهة بالأساس، ومحتفظا بيده اليسرى على الجدار فعلا حتى لا يضل طريقه. كما تمكن من العثور على علبة «الصودا» باستخدام جهاز المسح الليزري المحمل عليه، والتقاطها وإسقاطها مجددا إن كانت مليئة، وإعادة أية علبة فارغة يجدها إلى المكان المحدد. أربك هذا العمل بعض المهتمين، حين ظنوا بأننا نزعم انتفاء حاجة أي حيوان، وحتى الإنسان، للاحتفاظ بأية ذاكرة تتجاوز الثلاث ثوان. بالطبع لم يكن ذلك ما زعمناه؛ بل كنا نرى مدى قدرتنا على دفع فكرة عدم وجود موقع للإدراك، تاركين للإنسان الآلي حرية التصرف على المدى البعيد في العالم: «لا شيء في يدي، لذلك يجب البحث عن علبة صودا»، مقابل

«هنالك شيء في يدي، لذلك يتوجب علي محاولة إعادته إلى مكانه». كان «هيربرت» هو الروبوت المتواجد بصورة نهائية.

صنعت طالبتي مايا ماتاريك إنسانا آليا أسمته «توتو»، وحملته على نسخة أصغر حجما من إحدى قواعد غرينيل مور المزودة بالعجلات. كان «توتو» يتجول هنا وهناك مستخدما بوصلة وجهاز سونار وخرائط مسبقة لبيئته المحيطة، من دون أية تركيبات تقليدية للمعطيات. بدلا من ذلك، كانت «آلات دعم الوضع النهائي» AFSMs، المشابهة لتلك التي استخدمها «جنكيز»، تعدل نفسها، وأصبحت تمثل جوهريا، كمجموعة متناسقة، البيئة المحيطة التي واجهها «توتو» في طريقه. ركزت مايا أيضاً على الافتقار إلى محرك معرفي مركزي، فقد تصرف «توتو» كإنسان آلي يملك خارطة تقليدية للعالم المحيط، باستثناء أنها محتواة ضمن أنظمة الإحساس والتحريك ذات المستوى الأدنى. لم تكن الخارطة واضحة المعالم، بل هي عبارة عن تعديل لكيفية وجود «توتو» في العالم المحيط . إذ حددت كل ردة فعل يقوم بها «توتو» تجاه العالم من خلال تجسده، وبالتالي تصرف كأنما يملك خارطة رسمها بنفسه. ولم يكن ثمة فصل، كما هو الحال في برامج الحاسب التقليدية، بين ذلك القسم من البرنامج الذي رسم الخارطة، وبين القسم الذي استخدمها. كانا شيئاً واحدا، وهو أمر يتعارض مع كافة المعتقدات التقليدية الأساسية في أنظمة الحساب والتفكير، ويصعب على معظم الباحثين التقليديين في مجال الذكاء الاصطناعي تقدير أهميته.

طالب آخر هو ايان هورسويل، بدأ العمل من خلال إجراء التجارب على أنظمة بسيطة للرؤية يمكن تزويد «ألان» بها، وانتهى به الأمر إلى صنع روبوت آخر اعتماداً على قواعد غرينيل الأصغر حجماً والمزودة بالعجلات. كان هذا الروبوت، «بوللي»، مصمما ليكون دليلا «سياحيا» لزوار مختبر

الذكاء الاصطناعي التابع لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا. فقد كان يجوب الدهاليز والممرات، مستخدما جهاز معالجة للرؤية يمكنه من اتباعهم وتجنب أية عقبة تعترض سبيله. كان على «بوللي» اكتشاف زوار المختبر من أجل أخذهم في جولة في أرجائه.

هنا، يصبح من المهم تحليل بيئته الإيكولوجية الملائمة، ووضعه في العالم المحيط. لقد سأم كل طلاب المختبر من «بوللي» وهو يتجول في الممرات، ويثرثر ويهذر بصوت خارج من مركب صوت رخيص الثمن. وحين يرونه قادما عبر الممر، كانوا يفسحون له الطريق كي يصلوا إلى حيث يريدون بسرعة.

من ناحية أخرى، أثار الزوارَ، كما اعتقدنا، منظرُ إنسان آلي يتجول في الممرات، وكانوا يتوقفون للنظر إليه وتفحصه. وهكذا، تعامل «بوللي» مع أي شخص يسير في منتصف الممر، ويرتفع عموديا بمقدار خمسين سنتيمترا عن الأرض، باعتباره زائرا محتملا. كان يتوقف، ويعرض ـ شفاهة ـ القيام بجولة في أرجاء المختبر، ثم ينتظر ردا بالإيجاب. ونظرا لأن مجسه الحساس الوحيد مؤلف من الكاميرا المنصوبة عليه، فهو يقترح ـ لفظيا، أن يهز الزائر إحدى قدميه إن كان رده على الدعوة إيجابيا. وحين يكتشف الحركة، يعرف «بوللي» أن لديه «زبونا». أما صناديق التغليف أو غيرها من الركام التي تترك مؤقتا في الممرات فلا ترد بالإيجاب طبعا، ولذلك سرعان ما يحول «بوللي» بصره عنها بحثا عن زبون آخر.

جرى تشغيل «بوللي» بنجاح لبضعة أشهر، تجول خلالها في المختبر لمدة ساعتين تقريباً في أصيل كل يوم. وما إن يعثر على زبون، حتى يطوف في أرجاء الطابق السابع من المبنى الذي نعمل فيه بطريقة هادفة، محاولا زيارة كل بقعة عرفها. لم يكن مزودا بخارطة لنظام قياسي دقيق، ولكن

بخارطة مستمدة من برنامج بسيط تشابه تلك التي يمكن لـ«توتو» الحصول عليها بنفسه. فقد استخدم رؤية تقارن الصور المسجلة مسبقا لمعالم أماكن الجولة «السياحية»، وتمكن من الإعلان عن أشياء تثير الاهتمام مثل: «هذه غرفة شرب القهوة والمطبخ»، وهو يمشي عبر البيئة المحيطة المعيارية ضمن غرف المكاتب. كما استطاع القيام ببعض الجولات التلقائية مصطحبا فيها زوارا حقيقيين للمختبر، من خلال كاميرا تنوس من ناحية إلى أخرى بمقدار عشرين درجة وهو يدمدم عبر الدهاليز. لقد أردنا إظهار حقيقة أن «بوللي» لا يعتمد على بناء نماذج داخلية دقيقة كما حاول «شيكي» أن يفعل ـ بل كان يسبح في بحر من المجهول.

تعاون كل من كولن أنجل وسينثيا بريزيل في صنع سلسلة من المخلوقات الآلية القادرة على المشي باستخدام ست أرجل. كانت مخلوقات كولن وسينثيا أكثر طموحا، فقد بنى كولن «توأماً» «اتيلا» و«هانيبال» لكل منهما تسعة عشر محركا، وأحد عشر حاسباً محمولا على جسم الروبوت، إضافة إلى ما يزيد على مائة من الحساسات. كانت جميعاً بالغة التعقيد بالنسبة لنا آنئذ، لكن سينثيا شرعت بكل شجاعة في كتابة برامج «آلات دعم الوضع النهائي» (AFSMs) بلغة أرفع مستوى بقليل من اللغة التي قمت بتطويرها، دعتها بـ«اللغة السلوكية». في نهاية المطاف، أنتجت ما يزيد عن ألف وخمسمائة من برامج «آلات دعم الوضع النهائي» (AFSMs) سمحت للإنسان الآلي بأداء كافة أنواع المهمات. لم تؤثر فيها أعطال الحساسات، ومن خلال «نموذج للألم» أدخل بواسطة قراءات للحساسات المتنافرة، تمكنت من تجاهل الحساسات المعطلة ومن ثم دمجها من جديد إذا بدأت بالعمل بشكل صحيح مرة أخرى. طبقت سينثيا زوجا من نماذج إنتاج المشية السريعة استخلصتهما من الكتابات التي تناولت كيفية مشي الحشرات، وكشفت عن حالة من التنافر في أحد هذين النموذجين. وبدلا من تصميم

حركات الأرجل في سلسلة متعاقبة بشكل واضح كما في حالة «جنكيز» المفصلة آنفا، كانت حركة أرجل كل من «اتيلا» و«هانيبال» دينامية في مشيتها، وتنبثق خصائصها مما تواجهه كل رجل على حدة والرسائل التي تبعثها كل منها إلى الأخرى. علاوة على ذلك، كانت الأرجل قادرة على التناغم فيما بينها حين يواجه كل روبوت أرضا وعرة، بحيث ترفع معا الجسم، بينما تبحث إحدى الأرجل عن موطئ قدم، وتتراجع ثم تتفادى العقبات كلما كان ذلك ضروريا. ومع هذا العدد من برامج «آلات دعم الوضع النهائي» (AFSMs) الذي بلغ ألفا وخمسمائة، شعرنا بأننا أثبتنا إمكانية استخدام مقاربتنا.

صنعنا في المختبر المزيد والمزيد من المخلوقات الآلية، شملت «بوديتشيا»، وهو روبوت قادر على المشي ويعمل بالهواء المضغوط وله ست أرجل، صمم خصيصا للتجول على سطح المريخ، وذلك باستخدام ثاني أكسيد الكربون المسيل لتشغيله؛ إضافة إلى مجموعة من عشرين إنسان آلي[10] كانت تتعاون معا، كما تفعل الحشرات الاجتماعية، دون وسائل اتصال ظاهرة؛ وسلسلة من المخلوقات الآلية الصغيرة المصممة خصيصا لحفر التربة القمرية من أجل بناء حجاب واق للمباني البيئية البشرية؛ ومزيد من المخلوقات الآلية المتعاونة الشبيهة بالحشرات. أما العامل المشترك بين كل هذه الروبوتات فهو أنها، مثل «جنكيز»، مخلوقات اصطناعية لها برامجها المستقلة في العالم الخارجي. فقد صنعت من طبقات من أنظمة التحكم دون صناديق معرفية مركزية، كما زاوجت بين الحساسات والمشغلات الميكانيكية، مثلما تفعل الحشرات، من خلال ممرات عصبية قصيرة جدا. لقد كانت مخلوقات اصطناعية متواجدة ومتجسدة في آن معا.

10. كانت متشابهة جداً من حيث أن معظمها لم يكن يعمل في أغلب الأوقات!

الوصول إلى المريخ

في الوقت الذي استمر خلاله عمل مجموعة الباحثين التي ترأستها في مختبر الذكاء الاصطناعي التابع لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، قمنا أيضاً بمحاولات دؤوبة لإرسال واحد أو أكثر من مخلوقاتنا الاصطناعية إلى الفضاء، إضافة إلى سطح بعض الكواكب. وفي ذات الوقت الذي قمنا فيه أنا وكولن انجل بصنع «جنكيز»، كنت أنا وانيتا فلين نفكر بالطريقة التي يمكن فيها لهذه الأنواع من الروبوتات جعل استكشاف الفضاء عملية أقل تكلفة.

في أواخر الثمانينات، وضع «مختبر الدفع النفاث» (JPL) في باسادينا بولاية كاليفورنيا، خطة لإرسال إنسان آلي متحرك إلى كوكب المريخ. وصنع العاملون فيه مركبة جديدة تتفوق على تلك التي صنعوها في السبعينات. كانت المركبة الجديدة المسماة «روبي» تزن أكثر من طن، وتتحرك بالتحكم البصري بسرعة 1سم في الثانية. أما التكلفة الأساسية للمهمة التي جرت مناقشتها فهي 12 مليار دولار. ولكن تبعا للمناخ السياسي السائد والحدود المقبولة للميزانية آنذاك، بدا من غير المرجح تنفيذ المشروع.

تلقينا أنا وانيتا الدعم والتشجيع من النجاح الذي حققته مع كولن في صنع «جنكيز». كتبنا مقالة بعنوان «غزو الإنسان الآلي للنظام الشمسي: سرعة في التطوير، خفض في التكلفة، استقلال في التحكم»، نشرت في «مجلة الجمعية البريطانية للسفر بين الكواكب» (Journal of the British Interplanetary Society) عام 1989. أما فكرتنا فتمثلت في أن إرسال مائة عربة آلية «ذكية» يزن كل منها 1كغ سيكون أفضل من إرسال إنسان آلي يزن ألف كيلو غرام إلى المريخ أو سواه من الكواكب الأخرى. وبدا لنا أن العربة «الذكية» الصغيرة قادرة على إنجاز الكثير مما تستطيع العربة الكبيرة القيام به. ومن خلال إرسال عربة تزن عشر الحمولة الإجمالية، سوف تتقلص تكلفة

المهمة بشكل كبير، نظرا لأن تكلفة كتلة الإطلاق تمثل قسما هاما من إجمالي تكلفة المهمة. ذلك هو الجزء المتعلق بخفض التكلفة. وعبر تطوير عربة صغيرة بدلا من كبيرة، سوف يتقلص الوقت الضروري للتطوير. وهذا هو جزء السرعة. علاوة على ذلك، عندما تكثر العربات، يرجح أن ترسل أجهزة التحكم الأرضية عربة تكون «كبش فداء» لاستكشاف المواقع المثيرة لكن الخطيرة. أخيرا، ومن خلال جعل العربات «ذكية»، كذكاء «جنكيز» مثلا، لن تكون هناك من حاجة للإشراف والتحكم المتواصلين من الأرض، ويمكن السماح للعربات الذكية بالعمل بشكل مستقل ذاتيا. هذا هو جزء الاستقلالية في التحكم. كما أن ذلك يسهم في جعل المهمات أقل تكلفة.

لم نلق ترحيبا حارا حين قدمنا ـ أنا وانيتا ـ هذه الأفكار لأول مرة في ورشة عمل أقيمت في صيف عام 1988 في «مختبر الدفع النفاث»، في نفس الوقت الذي كنا فيه منهمكين في عملية تركيب وصنع «جنكيز». إذ وقف أحد المهندسين وهاجم الفكرة بالقول إن العلماء انتظروا خمسة عشر عاما للحصول على أداة ترافق البعثة الفضائية، وهم «يريدونها أداة كبيرة، وليست صغيرة ضئيلة». أصابنا شيء من الإحباط، ولربما أسهم ذلك الإحباط في التحدي الذي مثله عنوان البحث الذي كتبناه. وأعترف الآن بأن العنوان الذي اخترناه («سرعة في التطوير، خفض في التكلفة، استقلال في التحكم») كان حماسيا قليلا، لكن العديد من المهتمين استشهدوا واهتموا به فعلا[11]. لقد

11. مقولة «سرعة في التطوير، وخفض في التكلفة، واستقلالية في التحكم» أصبحت تشبه الشعار السري للعديد من الأشخاص على الانترنت، ليعبر عن النمو الهائل على مستوى القاعدة الشعبية لتلك الوسيلة، واستخدم كيفين كيللي جزءا من «الشعار» لعنوان كتابه الذي أصدره عام 1994 حول الطرائق الجديدة للتفكير بالذكاء الاصطناعي. أما ايرول موريس فقد استعاره كعنوان لفيلم تسجيلي صوره عام 1997 عني وعن ثلاثة أشخاص هامشيين آخرين يعملون في مجالات مختلفة (مروض أسود، وبستاني، ومرب لحيوانات الخلد).

شعرنا بإثارة كبيرة نتيجة هذه الأفكار وأردنا العثور على شخص يملك صاروخا ليرسلنا إلى كوكب آخر.

أبدى كل من دافيد ميللر وراجيف ديساي، وهما شابان يحملان شهادة الدكتوراه ويعملان في «مختبر الدفع النفاث»، الإعجاب بأفكارنا، ووجها الدعوة إلى كولن أنجل لقضاء صيف عام 1989 في العمل معهما. خلال وجوده هناك، صنع كولن خفية عربة مصغرة تزن نصف كيلو غرام دعاها «توث»، واستخدم فيها برنامج الكمبيوتر الذي قمنا بتطويره لـ«جنكيز». توجب على كولن صنعه بصورة سرية

لأنه كان أحد أفراد مجموعة برامج الكمبيوتر في «مختبر الدفع النفاث». اعتبرت قطع الحديد الملحومة خطرة جداً بحيث حظر وضعها في أيدي المبرمجين. وكان من الصعب أيضاً على دافيد وراجيف طلب الحصول على الأجزاء الضرورية وقطع الغيار لصنع «توث». وهكذا، وفي تحول غريب للأحداث بالنسبة لمعهد يهتم بالبحث العلمي مثل معهد ماساتشوستس، انتهى بي الأمر وأنا أمنح هذه الأجزاء والقطع الضرورية (بشكل غير رسمي) إلى وكالة الفضاء الأمريكية «ناسا»، الراعي التقليدي، لكي يتم صنع «توث». كان لـ«توث» أربع عجلات تمكنه من السير والتجوال والتقاط حصى صغيرة بذراعه. أما أداؤه فكان جيدا بما فيه الكفاية ليقنع دونا شيرلي، مديرة البعثة الفضائية إلى المريخ في «مختبر الدفع النفاث»، بأن هنالك مستقبلا واعدا ينتظر العربات الصغيرة، فوضعت برنامجا محدودا لميللر وديساي للاستمرار في العمل بعد عودة كولن إلى معهد ماساتشوستس.

سرعان ما صنع راجيف ديساي وديفيد ميللر عربتهما «الذكية» المصغرة، التي استخدمت نفس برنامج الكمبيوتر المستخدم في «توث»، بل

استعملت في البدء ذات الشيفرة، لكنها تفوقت عليه في تصميمها الميكانيكي. كانت عبارة عن جهاز بست عجلات عرف باسم «البعبع ـ الهزاز»، صمم في المختبر وتميز بقدرته الجيدة على تسلق الصخور الكبيرة نسبيا. أما الإنسان الآلي الأول فدعي بـ«روكي» على اسم تركيبته الآلية، وكان من الطبيعي أن تسمى النسخ اللاحقة بـ«روكي1»، و«روكي2».. لكن المشروع لم يحظ باحترام كبير في المختبر، واستثار في الواقع بعض الاستياء الصريح. فصنع نسخ صغيرة من الإنسان الآلي اعتمادا على ميزانية محدودة لم يكن طريقة جيدة لاجتذاب مبالغ كبيرة من المال من مركز وكالة الفضاء الأمريكية «ناسا» للحفاظ على البنية التحتية الضخمة المكتفية ذاتيا للمختبر. في الحقيقة، كان هنالك خطر من أن يؤدي الأمر إلى تخفيض في الميزانية المرصودة له.

أحزننا ذلك، أنا وكولن أنجل عند عودته إلى معهد ماساتشوستس. لم نكن نرى كيف يمكن للصلة الرابطة بمختبر الدفع النفاث أن توصل الروبوتات التي نصنعها إلى كواكب أخرى. قبل أن يمر وقت طويل، شكلنا فريقا مع بروس بولوك، رئيس شركة أبحاث متعاقدة مع الحكومة (ISX)، وتتخذ من منطقة لوس أنجلوس مقرا لها. بدأنا العمل لصالح شركة تسعى إلى الربح اسمها «أي إس روبوتيكس» (IS Robotics)[12]، تمثلت مهمتها المعلنة في المشاركة في الاستكشاف التجاري للقمر وغيره من الكواكب. رسمنا معا خطة تجارية متفائلة نوعاً ما، لبيع أدوات توقيت علمية للعلماء من خلال منح تقدمها لهم مؤسسة العلوم الوطنية ـ التي يصعب اعتبارها مصدرا موثوقا للدولارات. ذهبنا للعديد من الشركات الخاصة العاملة في ميدان عمليات الإطلاق (لم ينجح أي منها) بحثا عن صفقات رخيصة السعر

12. تحولت «أي إس روبوتيكس» (IS Robotics) الآن إلى شركة «أي روبوت» (iRobot).

للوصول إلى القمر كأول هدف لنا. تعرفنا على بعض العاملين في هوليوود ممن أملوا بإمكانية بيع حقوق عرض الأفلام السينمائية مسبقا وأنتجوا في ذات الوقت أفلاما حول الملحمة الفضائية. تحدثنا أيضاً مع كتاب المسلسلات الكرتونية حول فيلم كارتوني مستمد من شخصيات الإنسان الآلي التي تطير إلى القمر. ألبسنا الأقدام الست للروبوتات أحذية رياضية، وروجنا لفكرة آثار الأقدام على سطح القمر كبؤرة تركز عليها الحملة الدعائية. كنا بحاجة فقط إلى مبلغ تافه يبلغ 22 مليون دولار، والكثير من الحظ، وستسير الأمور على خير ما يرام.

كنا نكافح ونجاهد في مساعينا حين قابل بروس ديفيد سكوت. كان سكوت رائد فضاء سابق شارك في إحدى الرحلات الفضائية إلى القمر، وأعجب بمقاربتنا التقنية، وأراد أن يفعل شيئاً جديدا يتذكره العالم، وذلك بأن يكون واحدا من أوائل الذين يجعلون من الرحلات الفضائية نشاطا تجاريا. أما الرحلة التي قمت بها إلى لوس أنجلوس في شهر أيار/مايو من عام 1992 فقد استهدفت إقناع ديف بأن لدينا خطة قد تساعده على تحقيق أهدافه.

أدرك ديف أن العاملين في هيئة «منظومة الدفاع ضد الصواريخ البالستية» (Ballistic Missile Defense Organization) هم أفضل معين لنا . اسم المنظومة هو الاسم الرسمي لما كان معروفا آنئذ بحرب النجوم، أو درع الصواريخ البالستية الدفاعي الذي خطط له كل من ادوارد تيلر ولويل وود، وشجعه وروج له رونالد ريغان. ومع سقوط «إمبراطورية الشر» (الاتحاد السوفييتي)، أصبحت الهيئة، من الناحية السياسية، في مهب الريح، وغدا سبب وجودها ذاته محل تساؤل. أما استراتيجيتها غير الرسمية فكانت منافسة وكالة الفضاء الأمريكية «ناسا» وإظهار أنها أكثر نجاحا في مجال الفضاء.

في ذلك الوقت من عام 1992، كان هناك هدفان سعت الهيئة إليهما بشكل منفصل. لكن بالنسبة لغرضنا، مثلاً غاية مثالية حين يجتمعان معا. الأول هو التكنولوجيا. فقد كان لديها عربات متحركة هي عبارة مركبات فضائية صغيرة استخدمت في رحلات الفضاء، تزن الواحدة 23 كغ بعد ملئها بالوقود. وكان القصد وضع مئات أو آلاف من هذه «الفقاعات البراقة»، التي تسبح في الفضاء وتراقب أية علامات على إطلاق صواريخ بالستية غير معلن عنها وذلك باستخدام مجموعة من الحساسات المحملة عليها. وبموافقة من أجهزة التحكم الأرضية، تتوجه بدقة نحو الصاروخ وهو يرتفع في الجو وتحطمه باندفاعتها (أي تكتفي باستخدام قوة دفعها الذاتية دون أية متفجرات). تميزت هذه المركبات «المقاتلة» بقدرة لا تصدق على المناورة، وتم اختبارها على الأرض فعليا من خلال جعلها تحوم فوق شبكة نصبت في أحد موقع التجارب. وحين تملأ بالوقود يمكنها مغادرة المدار القمري، لو وجدت نفسها هناك، والهبوط بهدوء على سطح القمر. وفي حالة تجريدها من حساساتها المصممة للبحث عن الصواريخ، تصبح قادرة على حمل واحد من الروبوتات الصغيرة التي صنعناها.

تمثل الهدف الثاني للهيئة في خطة لوضع قمر صناعي في مدار حول القمر. من الناحية الاسمية، قصد من ذلك اختبار القدرات الفضائية للعربات، لكن في حكم المؤكد أن إحدى الغايات المسكوت عنها هي إظهار قدرة الهيئة على وضع جهاز أو قمر صناعي أو أداة أخرى في مدار حول أحد الكواكب ـ شيء لم تفعله وكالة الفضاء الامريكية «ناسا» منذ أكثر من عشر سنين. لاحظ ديف أن صاروخ الإطلاق والقمر الصناعي مناسبان لحمل كتلة بوزن 23 كغ، أي يمكن للعربة المقاتلة المتحركة أن تحمل إنسانا آليا من صنعنا.

استطاع ديف سكوت إقناع بعض الأشخاص في الهيئة بأن الأمر سيمثل

ثورة حقيقية بالنسبة لهم لو تمكنوا من جعل إنسان آلي يهبط بهدوء وبشكل دقيق قرب بقايا مركبة أبولو 15 على سطح القمر. وبمقدورنا ستر المشروع بغطاء علمي من خلال إجراء بعض الدراسات المتصلة بعلم المعادن على أرجل مركبة أبولو المصنوعة من معدن «إل إي إم»، وهو معدن معروف تعرض للبيئة القمرية لمدة عشرين سنة.

ما إن حصلنا على الضوء الأخضر، حتى سارعنا إلى بناء ستة نماذج مختلفة من الروبوتات القادرة على المشي والمزودة بست أرجل، بخلال مدة لم تتجاوز ستة أسابيع. شعار «أسرع في التطوير، وأرخص في التكلفة» كان يعمل بنجاح! توجب ألا يزيد وزن المركبة عن نصف كيلو غرام، وتطلبت برنامجا كمبيوتريا جديدا يمكن تحميله عليها. في نهاية صيف عام 1992، كان لدينا ثلاث عربات اختبار جيدة. وبحلول ذلك الوقت، انضم إلينا . أنا وكولن أنجل . في شركتنا هيلين غرينر، وهي طالبة أخرى درست سابقاً في مختبر الذكاء الاصطناعي. كانت هيلين تقوم بالتصميم الميكانيكي، في حين ذهبت مسؤولية التصميم الكهربائي إلى كولن، وقمت أنا بكتابة برامج الكمبيوتر. كان عملا مكثفا ومضنيا لكنه أرضانا إلى درجة مذهلة. كنا نستعد كي نرسل إلى الفضاء مركبة اختبرت على الأرض. لكن حتى في الهيئة، بدأت البيروقراطية تتدخل، ولم يجر الاختبار الحقيقي الأول إلا في أكتوبر من عام 1993.

في قاعدة ادواردز الجوية، وفي التلة التي شيد عليها نفس المبنى الذي شهد اختبار محركات صاروخ «ساترن 5» للرحلات الفضائية المأهولة إلى القمر، وضعت عربتنا الفضائية في إحدى المركبات المتحركة المقاتلة وبقيت فيها لعدة أيام، دون اتصالات، ودون حساب للوقت الذي تحتاجه للوصول إلى المدار القمري. عدلت المركبة المقاتلة نفسها لإضافة أرجل للهبوط.

وأخلي الجميع من موقع التجربة خوفا من انفجار الصاروخ. بدأ العد التنازلي، كما لو أن التجربة حقيقة. ارتفعت المركبة في الجو، وحومت ضمن نطاق الجاذبية الأرضية، التي تزيد بست مرات على جاذبية القمر، ثم حلقت آليا فوق سطح القمر المفترض، وهبطت دون أن تحدث جلبة عالية. وتم بنجاح تجاوز العقبة الرئيسية الأولى التي تواجه المهمة.

وضع الروبوت الذي صنعناه داخل حجيرة تمت موازنتها بحيث تتدحرج بهدوء نحو الجانب الأيمن بغض النظر عن الطريقة التي تسقط فيها على السطح. كررنا عملية إسقاط هذه الحجيرة والروبوت داخلها، على الإسفلت من ارتفاع متر واحد، أكثر من مائة مرة بغرض اختبارها. أطفأت العربة محركاتها و«ركلت» الحجيرة لافظة إياها على السطح الصلب من ارتفاع حوالي خمسين سنتيمترا. هبطت الحجيرة على الجانب الأيمن ولم تكن بحاجة للتدحرج. تم تجاوز العقبة الثانية. والتهبت الأكف بالتصفيق في غرفة التحكم. الآن، بدأ الروبوت يؤدي مهمته.

توجب ثني كافة أرجل الروبوت لتقليل حجم المساحة التي يشغلها إلى أدنى حد كي يناسب البقاء داخل الحجيرة/الشرنقة. ومن أجل الخروج منها، كان عليه استخدام إحدى الأرجل المثنية لفتح مزلاج يحتجز الحجيرة. أدرك الروبوت أن مهمته قد بدأت بتلك العملية، وذلك دون تحكم ظاهر من قبل المشرفين على المهمة. مبدأ «الاستقلالية في التحكم» كان يعمل بنجاح، وتم تجاوز العقبة الثالثة.

بعد ذلك حل الروبوت «غرنديل» تشابك رجليه، ووقف منتصبا. ثم بدأ المشي مبتعدا عن المركبة الهابطة، باحثا عن مكان ليغرف بعض التراب بالمغرفة المثبتة أسفل بطنه. علا الهتاف والتصفيق في غرفة التحكم. لقد عملت الخطة بنجاح باهر!

الوصول إلى المريخ فعلا

ملأتنا التجربة بالإثارة. كل ما نحتاج الآن لفعله هو صنع نسخة من الروبوت المؤهل للعمل في الفضاء الخارجي، ولسوف يسافر إلى القمر. وهنا، يقتحم الصورة عالم السياسة الحقيقي.

كان هناك جدل محتدم حول ما إذا كان ينبغي على الهيئة فعلا وضع مركبات على سطح القمر. وتم تبرير الرحلة الفضائية للدوران حول القمر على أساس أنها ستكون اختبارا جيدا للملاحة، والاستقلال الذاتي، والحساسات، وموثوقية أنظمة وبرامج الهيئة التي يفترض أن تشتغل بذاتها في الفضاء. لكن كان من الأصعب تبرير الهبوط الفعلي على سطح القمر. وكان هذا بالتأكيد هو التحفظ الذي أبدته وكالة الفضاء الأمريكية «ناسا». بغض النظر عن أنها لم ترسل أية مركبة للهبوط على سطح أي كوكب آخر سوى الأرض ذاتها.

لم أكن مطلعا على المناورات السياسية التي كانت تجري خلف الكواليس. فقد أعلنت «ناسا» أنها لديها مركبة تخطط لإطلاقها للهبوط على سطح المريخ في أواخر عام 1996. لكن في تشرين الأول/أكتوبر 1993، حين حلق «غريندل» فوق قاعدة ادواردز الجوية، لم يكن هناك مركبة يمكن أن تحمله إلى الفضاء.

بعد حوالي ثلاثة أشهر من تجربتنا الناجحة، أعلنت هيئة «منظومة الدفاع ضد الصواريخ البالستية» (BMDO)، أنها لن ترسل الروبوت الذي صنعناه إلى القمر. في ذات الوقت، أعلنت «ناسا» أنها سترسل مركبة إلى المريخ بخلال مدة تقل عن ثلاث سنين! كان للوكالة مشروع صغير يجري العمل عليه في «مختبر الدفع النفاث» لتطوير نوع جديد من المركبات المنخفضة التكلفة. ما كان يعرف بـ«روكي6» في برنامجها المتسلسل أصبح

الآن مركبة تسافر إلى المريخ. وهذا ما حدث فعلا، حالما جرت إعادة تسميتها بـ«سوجورنر» وحلقت في الفضاء تحت شعار «الأسرع، والأرخص، والأفضل»، الذي تبنته «ناسا». كانت سوجورنر/روكي6» إنسانا آليا يتحدر من مشروع المركبة «الذكية» الصغيرة التي زرعنا . أنا وكولن . بذرته في «مختبر الدفع النفاث» عام 1989.

في الرابع من شهر تموز/يوليو 1997، كنت في المختبر أراقب عملية الهبوط. آلية الهبوط غير المعقولة التي تعتمد على البالونات المملوءة بالهواء عملت بنجاح، رغم شكوك الكثيرين بها. شقت «سوجورنر» طريقها بنجاح، وانزلقت على مسارها خارجة إلى سطح المريخ. في البداية، جرى التحكم بها بشكل مباشر ودقيق، حيث تم تزويدها بأوامر الحركة يومياً من قبل المهندسين على الأرض. بعد المهمة الأولية التي امتدت طيلة سبعةٍ من أيام المريخ، والمهمة الثانوية التي امتدت واحدا وعشرين يوما إضافيا، سمح لها في نهاية المطاف بالعمل بشكل مستقل ذاتيا تحت إشراف مقاربة التحكم المعتمدة على السلوك التي قمنا بتطويرها من أجل مخلوقاتنا الاصطناعية في معهد ماساتشوستس. وعلى عكس كافة المجسات الفضائية الآلية السابقة، كان لـ«سوجورنر» الآن جدول أعمال خاص بها، وعملت باستقلالية عن التحكم البشري.

انهمك أول سفير متنقل بعثته الأرض إلى كوكب آخر، وهو مخلوق صنع من السيليكون والفولاذ[13]، باستكشاف البيئة المحيطة به. ولأول مرة في التاريخ يرسل البشر مخلوقاً آلياً، كائناً آلياً مستقلاً ذاتياً، بدلاً من مخلوق بيولوجي، ليكون بمثابة طليعة ممثليه في الفضاء الكوني.

13. في الواقع كان معظمها من الألمنيوم وليس الفولاذ.

مراجع إضافية للقراءة

Brook, R. A. 1999. Cambrian Intelligence. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Brook, R. A., and A. M. Flynn. 1989. "Fast, Cheap, and Out of Control: A Robot Invasion of the Solar System." Journal of the British Interplanetary Society 42 (10): 478-85.

Kelly, K. 1994. Out of Control: The Rise of Neo-Biological Civilization. Reading, Mass.: Addison-Wesley.

Marr, D. 1982. Vision. San Francisco: W. H. Freeman.

Matijevic, J. 1998. "Autonomous Navigation and the Sojourner Micro-rover." Science 280: 454-55.

Pentland, A. P., ed. 1986. From Pixels to Predicate: Recent Advance in Computational and Robotic Vision. Norwood, N. J.: Ablex Publishing Corp.