

Cyc - Computer mit Verstand

Axel Gerstmair

12. Juni 2001

Zusammenfassung

Cyc ist ein kühner Versuch, eine riesige Wissensbasis über das menschliche Allgemeinwissen zu erstellen. Der Bericht beschreibt die Entwicklung dieses riesigen, 1984 gestarteten Projekts und gibt einen Überblick über die Funktionsweise des Cyc-Systems, angefangen bei der Sprache zur Darstellung von Wissen, über Schlussfolgerungen bis hin zur Organisation der Wissensbasis. Es werden bestehende und einige denkbar mögliche Anwendungen aufgezeigt. Der Bericht schließt mit einem kleinen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Was ist Cyc?	3
1.2	Historischer Abriss	3
1.3	Cyc - ein Expertensystem?	4
1.4	Überblick über Cyc	4
2	Die Darstellungssprache	5
3	Schlussfolgerungen	6
4	Die Wissensbasis	6
4.1	Mikrotheorien	8
5	Anwendungen und Ausblick	8
5.1	Verarbeitung natürlicher Sprache	8
5.2	CycSecure	9
5.3	Ausblick	9

1 Einleitung

C-3PO, Protokoll-Droide und Roboter-Mensch-Kontakter, aus Krieg der Sterne oder Data aus Raumschiff Enterprise¹. – Wer kennt nicht die Vorstellung des Roboters mit menschlichem Verstand, der fließend mit seinen Mitmenschen spricht und genauso gut deren Worte versteht und befolgen kann? Ist diese Vorstellung eher ein alter Traum von Science Fiction Autoren und Fans oder lässt sich diese Idee irgendwann einmal umsetzen? Cyc (sprich: englisch „psych“, in etwa „saik“) [2] ist möglicherweise ein Schritt in genau diese Richtung: Cyc könnte helfen, einem Computer Verständnis einzuhauchen.

1.1 Was ist Cyc?

Cyc ist eine riesige Wissensbasis, die den größten Teil des Allgemeinwissens (common sense knowledge) eines durchschnittlich gebildeten Amerikaners enthalten soll. Darüber hinaus kann Cyc logische Schlussfolgerungen aus dem vorhandenen Wissen ziehen. Ungefähr eine Million Behauptungen (oder Regeln) wurden von Hand eingegeben, um das Wissen zu fassen, was ein Mensch gelernt hat und intuitiv, z.B. anhand von Daumenregeln, einsetzt. Beispielsweise weiß Cyc, dass Bäume normalerweise im Freien stehen, dass verstorbene Menschen keine Sachen mehr einkaufen, oder dass man ein Glas Wasser aufrecht halten sollte.

Die Grundlagen von Cyc erlauben dem System, im Bereich verschiedener Anwendungsgebiete Dinge zu interpretieren und Schlussfolgerungen zu ziehen, z.B. [2]

- kann Cyc einen Zusammenhang herstellen zwischen einem Suchbegriff „Bilder von starken, abenteuerlichen Leuten“ und einem Bild mit der Überschrift „Ein Mann, der eine Klippe hinaufklettert“,
- kann Cyc erkennen, ob man bei einer Tabellenkalkulation versehentlich ein Jahresgehalt und einen Stundenlohn zusammengezählt hat,
- kann Cyc Informationen aus mehreren Datenbanken kombinieren, um z.B. zu erraten, welche praktizierenden Ärzte Studienkollegen während ihres Medizinstudiums waren.

1.2 Historischer Abriss

Cyc begann 1984 als ein Forschungsprojekt an der Universität Stanford in Zusammenarbeit mit der Firma MCC² (ab 1994 Cycorp, Inc. [4]). Geleitet wird das Projekt von Dr. Douglas B. Lenat, einem renommierten Forscher im Bereich der Künstlichen Intelligenz und Präsident von Cycorp. Aufgrund seiner ambitionierten Zielsetzung ist Cyc ein sehr riskantes Unternehmen, für das in den letzten siebzehn Jahren etwa 500 Personennjahre Entwicklungszeit [5] aufgewendet wurden. Ein großer Teil der Arbeit fiel dabei auf das Sammeln und Eingeben der insgesamt über eine Million Regeln und Fakten in das System. Außerdem musste die Darstellungssprache und interne Repräsentation des Wissens entwickelt werden, um überhaupt in der Lage zu sein, derartige Zusammenhänge

¹*Krieg der Sterne* ist ein eingetragenes Warenzeichen von Lucasfilm Ltd., *Raumschiff Enterprise - Das Nächste Jahrhundert* ist ein eingetragenes Warenzeichen von Paramount Pictures.

²Microelectronics and Computer Technology Corporation

abzubilden. Diese mussten dann fortwährend angepasst werden, um Widersprüche zu beseitigen und die Effizienz zu erhöhen. Sehr aufwändig ist das Erkennen und Entwickeln von sogenannten *Mikrotheorien* (s. Abschnitt 4.1) über verschiedene Themen, wie z.B. Einkaufen, Behälter oder Gefühle.

Mit Cyc verfolgten Lenat und seine Mitarbeiter eher den Ansatz der empirischen Forschung. D.h. sie begannen damit, einen Prototypen zu schaffen und diesen dann Schritt für Schritt weiterzuentwickeln, noch bevor sie alle theoretischen Grundlagen klar ausformuliert, geschweige denn entwickelt hatten. Dennoch achteten sie darauf, dass ihre Arbeit auf einer festen theoretischen Basis – der symbolischen Wissensverarbeitung – stand.

Cyc war bislang zum größten Teil ein Forschungsprojekt, das von Förderprogrammen der amerikanischen Regierung und des Militärs profitierte. Ein wichtiger Geldgeber ist die DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), die Cyc in großen Projekten wie z.B. der High Performance Knowledge Base (HPKB) und DARPAs Agent Markup Language (DAML) fördert [5].

In den letzten Jahren ist Cyc zu einem System gereift, zu dem es mittlerweile auch einige Anwendungen gibt (s. Abschnitt 5).

1.3 Cyc - ein Expertensystem?

Man kann sich Cyc als ein Expertensystem vorstellen, dessen Spezialgebiet alltägliche Dinge und Handlungen sind. Es enthält Aussagen der Art [9]:

- Man muss wach sein, um etwas essen zu können.
- Man kann normalerweise die Nase eines Menschen sehen, aber nicht sein Herz.
- Man kann sich nicht an Ereignisse erinnern, die noch nicht stattgefunden haben.
- Wenn man ein Stück Erdnussbutter in zwei Hälften zerteilt, dann ist jede Hälfte wiederum ein Stück Erdnussbutter. Schneidet man dagegen einen Tisch in zwei Hälften, dann ist keine von beiden ein Tisch.

Cycs Stärke ist die Breite des repräsentierten Wissens. Kein anderes System deckt ein derart breites Spektrum an Wissen ab, obgleich es Projekte in Japan, Großbritannien und den USA (z.B. „Mining the World Wide Web“ an der CMU [1]) gibt, die in mancher Hinsicht Ähnlichkeit mit Cyc haben. Diese beschränken sich allerdings auf ein kleineres Gebiet, um möglichst schnell ihre Zielsetzungen zu erreichen (z.B. maschinenbasierte Übersetzungssysteme). Im Vergleich zu einem „herkömmlichen“ Expertensystem enthält Cyc über tausendmal mehr Regeln und Behauptungen.

Aufgrund dieses Merkmals – keine Spezialisierung auf ein bestimmtes Fachgebiet, auf dem es auch menschliche Experten wie z.B. Ärzte oder Ingenieure gibt, sondern die Schaffung einer möglichst breiten Wissensbasis – kann man darüber streiten, ob man Cyc als ein Expertensystem bezeichnen will oder nicht.

1.4 Überblick über Cyc

Um ein System wie Cyc erschaffen zu können, müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt werden. Man muss beispielsweise eine Darstellungssprache für das Wissen entwickeln

und, da man nicht alle denkbaren Fakten und Aussagen sammeln und in eine Wissensbasis eingeben kann, braucht man außerdem einen ausgefeilten Mechanismus, um Schlussfolgerungen aus den bestehenden Fakten und Regeln ziehen zu können. Schließlich muß man die Organisation der Fakten und Regeln in der Wissensbasis sorgfältig planen.

Die nächsten drei Abschnitte gehen detaillierter auf diese drei Aspekte von Cyc ein: CycL – die Darstellungssprache, Schlussfolgerungen und schließlich die Organisation der Wissensbasis.

2 Die Darstellungssprache

CycL ist die Sprache, mit der das ganze Wissen in Cycs Wissensbasis beschrieben wird. Die Sprache wurde inkrementell entwickelt, indem die Forscher CycL jedesmal erweitern, wenn sie auf etwas stießen, das sie nicht ausdrücken konnten, aber das mit aufgenommen werden musste. In regelmäßigen Abständen haben sie dann die Darstellungssprache überarbeitet, um die unweigerlich entstandenen Ungereimtheiten zu beseitigen. Auf diese Weise ist eine Sprache entstanden, die auf der Prädikatenlogik erster Ordnung (PL1) basiert, jedoch um Merkmale zur Repräsentation von Standardfakten (defaults), Vergegenständlichung (reification) und Reflexion (reflection) ergänzt worden und deshalb mächtiger als PL1 ist [7].

Beispiel 1: Die Aussage „alle Vögel fliegen“ sieht in PL1 so aus:

$$\forall x \text{ isa}(x, \text{Bird}) \rightarrow \text{flies}(x)$$

und in CycL so³:

```
(#$implies
  ($isa ?X #Bird)
  ($flies ?X))
```

Standardfakten sind eine Besonderheit von CycL. Normalerweise würde man eine Aussage folgendermaßen formulieren müssen: „alle Vögel fliegen“, was aber nicht ganz der Tatsache entspricht (man denke hier beispielsweise an Strausse). Viel schöner wäre es, die Aussage abzuschwächen und zu formulieren: „Vögel fliegen für gewöhnlich“. Und genau solche Aussagen sind mit CycL möglich. CycL stellt dazu besondere Sprachelemente zur Verfügung, in diesem Fall das ab_i Prädikat (*abnormal in fashion i*).

Beispiel 2: Die abgeschwächte Aussage „Vögel fliegen für gewöhnlich“ in PL1 („für alle x gilt: ist x ein Vogel und ist x nicht abnormal in Bezug auf das Fliegen, dann fliegt x “):

$$\forall x \text{ isa}(x, \text{Bird}) \wedge \neg ab_1(x) \rightarrow \text{flies}(x)$$

³#\$implies und #\$isa sind reservierte Schlüsselwörter in CycL, #Bird und \$flies sind Konstanten und ?X ist eine (ungebundene) Variable. CycL unterscheidet Groß- und Kleinschreibung von Bezeichnern (case sensitive), wobei Variablen komplett großgeschrieben werden, Prädikate mit einem Kleinbuchstaben beginnen und alle restlichen Konstanten mit einem Großbuchstaben [6].

Daneben gibt es noch weitere Sprachelemente, mit denen man z.B. angeben kann, dass ein Argument in einem bestimmten Zusammenhang ungültig ist oder dass ein Argument einem anderen vorzuziehen ist. Diese Spracherweiterungen spielen auch eine wichtige Rolle beim Folgern und Ableiten neuer Aussagen.

3 Schlussfolgerungen

Um eine Wissensbasis sinnvoll und effizient nutzen zu können, benötigt man ausgeklügelte Mechanismen. Diese ermöglichen es dann, nicht nur die einzelnen gespeicherten Fakten abzufragen, sondern darüber hinaus implizite Aussagen und Behauptungen abzuleiten bzw. zu folgern. Cyc verwendet dazu die allgemeine logische Ableitung (modus ponens und modus tolens⁴), wobei bekannte Mechanismen wie Vererbung und automatische Klassifikation Spezialfälle sind. Cyc sucht dabei zuerst nach den am besten passenden Fällen und nutzt Mikrotheorien (s. 4.1), um den Suchraum einzuschränken.

Beispiel 3: Es gibt eine spezielle Regel *überträgtSichAuf* (*transfersThrough*), mit der man Aussagen automatisch übertragen lassen kann. Sei z.B. folgendes gegeben [7]:

- *überträgtSichAuf(besitzt, physischesTeil)*,
- *besitzt(Max, Automobil)* und
- *physischesTeil(Automobil, Lenkrad)*.

Dann folgt daraus *besitzt(Max, Lenkrad)*. Wenn Max ein Auto besitzt, dann gehört ihm automatisch auch dessen Lenkrad. Intern wird das Prädikat *überträgtSichAuf* übersetzt in $(\forall x, y, z) \textit{besitzt}(x, y) \wedge \textit{physischesTeil}(y, z) \rightarrow \textit{besitzt}(x, z)$.

CyCs Schlussfolgerungsmechanismen wurden genauso wie die Darstellungssprache CycL schrittweise entwickelt. Problematisch ist dabei die Größe der Wissensbasis, denn herkömmliche Mechanismen lassen sich darauf nicht so einfach übertragen bzw. skalieren nicht entsprechend gut. Die Entwickler mussten daher einige neue Techniken ausarbeiten, hauptsächlich spezialisierte Module, um diesem Problem gerecht zu werden. So unterstützt Cyc anwendungsspezifische Schlussfolgerungsmodule z.B. für Mengen, Gleichheit, Zeit oder mathematische Gebiete.

4 Die Wissensbasis

Die Fakten und Regeln in CyCs Wissensbasis werden mit Hilfe von CycL dargestellt. Ganz entscheidend bei der Repräsentation des Wissens ist dessen Strukturierung und Organisation, sowohl für die Entwickler als auch für das System selbst. Eine gute Organisation erleichtert den Umgang mit dem System, insbesondere wenn man neue Aussagen der Wissensbasis hinzufügen will. Auf der anderen Seite kann man dadurch erheblich die Leistungsfähigkeit des Systems steigern.

⁴*modus ponens* ist eine Schlussfolgerungsregel, mit der man aus A und $A \rightarrow B$ auf B schließen kann. *modus tolens* lässt sich daraus folgern und bedeutet, dass man aus $\neg B$ und $A \rightarrow B$ auf $\neg A$ schließen kann.

Ein wichtiges Konzept bei Cyc sind die Kategorien (auch Klassen oder Mengen genannt). Sie stehen durch Spezialisierung⁵ miteinander in Beziehung, wodurch eine gewisse Hierarchie entsteht. Abbildung 1 zeigt die wichtigsten Kategorien zur Einordnung von # $\$$ Automobile.

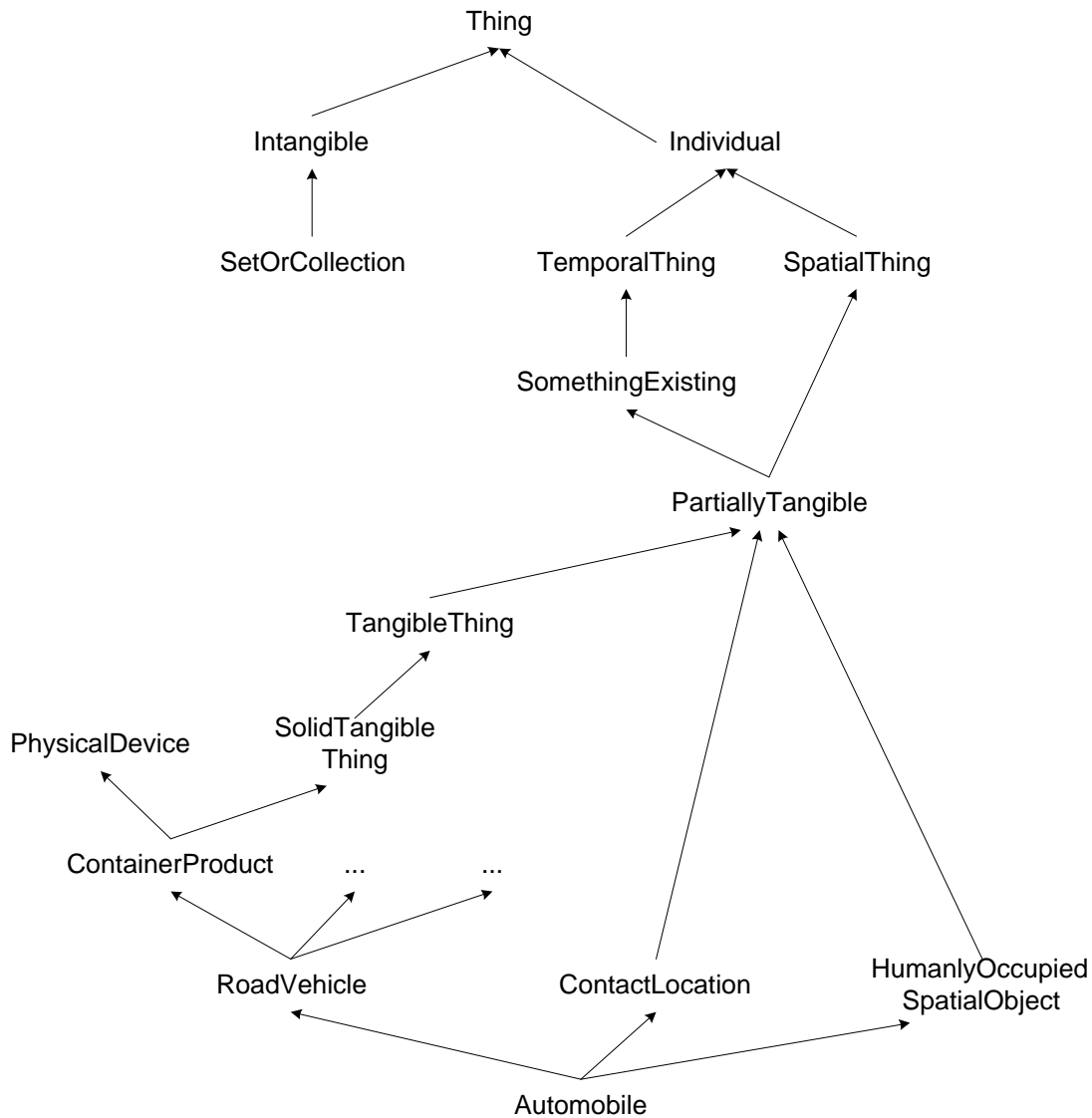


Abbildung 1: Kategorisierung eines Autos.

Durch die Kategorien kann Cyc Zusammenhänge erkennen und Suchvorgänge beschleunigen. Will man z.B. eine Belegung für die obige Aussage $(\forall x, y, z) \text{ besitzt}(x, y) \wedge \text{ physischesTeil}(y, z) \rightarrow \text{ besitzt}(x, z)$ finden, so müsste man normalerweise alle Belegungen für x , y und z durchprobieren. Allerdings weiß Cyc, dass *physischesTeil* zur Kategorie # $\$$ PartiallyTangible gehört, und muss deshalb für y und z nur dessen Unterbereich durchsuchen.

⁵Der entsprechende gegensätzliche Begriff ist die Verallgemeinerung.

Die universelle Menge ist *Thing*. Eine wichtige Untermenge davon ist *Individual*, die alle Dinge enthält, die selbst keine Mengen sind, also z.B. physische Objekte oder Zahlen. Die nächste wichtige Untermenge ist *Intangible*, die Menge aller nicht-physischen Dinge. Alle Mengen (*SetOrCollection*) gehören zu *Intangible*, auch wenn deren Elemente materiell sind. Insgesamt gibt es über 50 Oberkategorien, die Ordnung in das System bringen. Darunter befinden sich auch Kategorien zur zeitlichen und räumlichen Einordnung.

4.1 Mikrotheorien

Wie bereits eingangs erwähnt gibt es bei Cyc das Strukturierungskonzept der *Mikrotheorien*. Dabei werden mehrere, zusammenhängende Aussagen zur einer Theorie zusammengefasst. Cyc kennt z.B. eine einfache Theorie der Physik (naive theory of physics, NTP), die besagt, dass etwas fällt, wenn es nicht gehalten wird (mal abgesehen von Luftballonen und Gegenständen im Weltall) [8].

Durch die Fokussierung auf ein kleineres Gebiet erlauben es Mikrotheorien, Aussagen aufzunehmen, die auf den ersten Blick widersprüchlich erscheinen. Hierzu ein Beispiel: in der Fantasy-Literatur gibt es Vampire und Kobolde, nicht jedoch in der Wirklichkeit. In Cyc würde man dieses Problem lösen, indem man die Aussagen zwei verschiedenen Mikrotheorien zuordnet. Dann könnte Cyc erkennen, dass es sich im folgenden um etwas Erdachtes handeln muss: „Erst als der Pflock tief im Herzen des Vampirs steckte, sollte wieder Ruhe einkehren.“

Mikrotheorien sind selbst Objekte erster Stufe (first class objects). Dies bedeutet, dass Aussagen über sie gemacht und sie dadurch in Beziehung zueinander gesetzt werden können. Damit kann man z.B. angeben, in welchem Zusammenhang eine bestimmte Mikrotheorie anzuwenden ist. Man muss allerdings vorsichtig sein und unterscheiden, ob sich eine Aussage auf eine Mikrotheorie selbst bezieht oder ob sie in der Mikrotheorie enthalten ist. Fügt man beispielsweise eine Aussage einer Mikrotheorie hinzu, so ändert sich diese, aber nicht der Zusammenhang, in dem sie verwendet wird.

Jede allgemeine Feststellung (also solche, die nicht eine Mikrotheorie beschreiben) muss in einer Mikrotheorie enthalten sein. Dazu gibt es noch eine besondere, nämlich die *mächtigste Mikrotheorie* (most expressive micro-theory, MEM), in die ein Großteil aller Aussagen fällt.

5 Anwendungen und Ausblick

Dieses Kapitel zeigt an einigen beispielhaften Anwendungen die Stärken von Cyc auf. Diese Anwendungen wären ohne ein System wie Cyc nur sehr schwierig oder möglicherweise gar nicht umsetzbar. Allerdings muss man auch sagen, dass Cyc bislang zum größten Teil ein Forschungsprojekt war und dass es kaum fertige oder gar kommerzielle Produkte gibt.

5.1 Verarbeitung natürlicher Sprache

Eine der größten Schwierigkeiten bei der Verarbeitung natürlicher Sprache ist das Auflösen von Mehrdeutigkeiten. Dazu muss man den Zusammenhang kennen und ein umfassendes Hintergrundwissen haben. Ein Beispiel: „Was ist das Ziel von Flug 803?“ [9].

Ist hier der heutige Flieger gemeint oder generell die Route von Flugzeugen mit dieser Nummer? Selbst wenn man dieses Problem gelöst hat, bleibt noch zu entscheiden, ob die Antwort die Landebahn, den Flughafen, eine Stadt oder das Land angeben soll. Um derartige Probleme zu lösen, bietet sich Cyc geradezu an. Cyc hat das benötigte Allgemeinwissen und verfügt über die entsprechenden Schlussfolgerungsmechanismen.

Mit diesem Aspekt hängt auch noch ein anderes, ähnliches Anwendungsgebiet zusammen. Cyc kann beim Erkennen von gesprochener Sprache eingesetzt werden, und zwar nachdem die üblichen Statistiken und Erkennungsmethoden angewendet wurden, um ein letztes Mal zu überprüfen, ob der Satz einen Sinn ergibt. Es gibt viele Wörter, die ähnlich klingen und erst unterschieden werden können, wenn man den Zusammenhang kennt.

5.2 CycSecure

CycSecure ist ein Produkt, das automatisch Netzwerke auf ihre Sicherheit hin überprüfen kann, indem es Netz-Angriffe simuliert [3]. Das eigentliche Einsatzgebiet von CycSecure ist das Aufdecken von verschränkten Verwundbarkeiten, d.h. von nicht offensichtlichen, komplexen Sicherheitslöchern in einem anscheinend sicheren Netz.

In einem ersten Schritt erfasst die Anwendung automatisch die vollständige Konfiguration eines Netzwerks, wie z.B. Maschinennamen und -adressen, laufende Dienste, die Netzwerk-Topologie etc. Im zweiten Schritt versucht CycSecure nun einen Angriffsplan zu erarbeiten, indem die Anwendung nach einer Folge von Aktionen sucht, die das Netzwerk einem Angreifer öffnet. Dazu greift sie auf eine große Wissensbasis zurück, in der alle möglichen Verwundbarkeiten von Programmen und deren Bedingungen gespeichert sind, und berücksichtigt die anfangs gesammelten Daten über das Netzwerk. Ein wichtiger Vorteil von CycSecure ist auch, dass es das Netzwerk nicht intensiv durchleuchten muss oder Netzbandbreite verbraucht, da die Anwendung einen Angriffsplan mehr oder weniger errechnet. Dagegen müssen herkömmliche Programme alle möglichen Angriffe wirklich durchprobieren.

5.3 Ausblick

Ein interessanter Aspekt ist schließlich noch, dass das Cyc-System selbst um die Fähigkeit ergänzt wird, natürliche Sprache verarbeiten zu können und dadurch neues Wissen zu erlernen (knowledge-based natural language understanding, KBNL, und knowledge-based machine learning, KBML). Man kann sich leicht vorstellen, wie das System einmal selbständig Literatur und andere Wissensquellen studiert und seine Wissensbasis damit ergänzt. Es wäre denkbar, dass Cyc beispielsweise die Filmdatenbank im Internet [10] durchforstet, und man könnte anschließend Cyc jede Frage zum Thema Film stellen. Dies würde allerdings voraussetzen, dass die Quelltexte in einem maschinell weiterverarbeitbaren Format vorliegen.

In den nächsten Jahren wird sicherlich noch einiger Entwicklungsaufwand in Cyc investiert werden. Vielleicht kann Cyc bis dahin noch einige neue Anwendungsgebiete erobern und sich verbreiten, auch in kommerziellen Produkten. Das Interesse an Cyc ist auf jeden Fall groß, da ein unglaubliches Potential darin steckt. Internationale Firmen wie IBM, Apple und DEC [5, 7] haben das bereits erkannt und wollen Cyc nutzen.

Es bleibt offen, ob Cyc notwendig ist oder ob es für spezialisierte Anwendungen nicht einfachere Lösungen gibt, die auf dieses gesammelte Allgemeinwissen verzichten können. Das wird man jedoch erst im Laufe der Zeit erfahren. Vermutlich werden zukünftige Anwendungen mehrere Quellen (einschließlich Neuronale Netze und Entscheidungstheorien) nutzen und sich nicht alleine auf eine verlassen. Und möglicherweise wird Cyc zu ihnen gehören.

Literatur

- [1] Center for Automated Learning and Discovery (CALD), Carnegie Mellon University on the web: <http://www.cs.cmu.edu/~cald/research-tom.html>. Mining the World Wide Web.
- [2] Cycorp, Inc. on the web: <http://www.cyc.com/overview.html>. Company Overview.
- [3] Cycorp, Inc. on the web: <http://www.cyc.com/products-cycsecure.html>. CycSecure.
- [4] Cycorp, Inc. on the web: <http://www.cyc.com/halslegacy.html>. Hal's Legacy.
- [5] Cycorp, Inc. on the web: <http://www.cyc.com/opencycpressrelease03062001.html>. Pressemitteilung vom 6. März 2001.
- [6] Cycorp, Inc. on the web: <http://www.cyc.com/cyc-2-1/ref/cycl-syntax.html>. The Syntax of CycL.
- [7] Lenat, D. B., Guha, R. V., Pittman, K., Pratt, D. and Shepherd, M. 1990: *Cyc: Toward Programs With Common Sense*. Communications of the ACM.
- [8] Guha, R. V., Lenat, D. B. 1990: *Cyc: A Mid-Term Report*. Communications of the ACM.
- [9] Lenat, D. B. 1995: *CYC: A Large-Scale Investment in Knowledge Infrastructure*. Communications of the ACM, Vol. 38.
- [10] International Movie Database: <http://www.imdb.com>.