

Разработка системы проектирования зданий на основе прецедентов

Перевод с английского

KEFENG HUA and BOI FALTINGS
Artificial Intelligence Laboratory(LIA)
Swiss Federal Institute of Technology(EPFL)
INR-Ecublens
CH-1015 Lausanne
Switzerland
e-mail: hua@lia.di.epfl.ch, faltings@lia.di.epfl.ch

Краткое содержание

В статье описывается использование проектирования на основе прецедентов (CBD) в системах проектирования зданий с акцентом на систему CADRE. Основное внимание уделено адаптации предыдущих проектных решений к новым условиям, что позволяет сократить сложность и повысить эффективность проектирования. Рассматриваются проблемы применения подхода на основе прецедентов, такие как выбор релевантных прецедентов, адаптация к новым задачам, сложность совместимости различных абстракций, а также решения этих проблем в системе CADRE. Документ делает вывод, что CBD имеет большой потенциал для использования в интеллектуальных системах проектирования.

1. Введение

Наблюдения за дизайнерами часто указывают на повторное использование ими предыдущих примеров дизайна в качестве источника знаний о дизайне. В искусственном интеллекте техника рассуждений на основе прецедентов (CBR) моделирует эту стратегию решения проблем, и поэтому

проектирование на основе случаев (CBD) является перспективной техникой для интеллектуальных систем проектирования. Прецеденты отличаются от других форм знаний или опыта тем, что они моделируют конкретные, не обобщенные экземпляры артефактов или событий. Знания в системе проектирования можно разделить на знания о дизайне, используемые для синтеза, и знания о домене для анализа дизайна. Мы определяем систему проектирования на основе кейсов как систему, в которой кейсы используются в качестве источника знаний о дизайне. Применение примеров для анализа рассматривается во многих существующих работах в области рассуждений на основе примеров и не является предметом данного исследования. Некоторые экспериментальные системы CBD включают ARCHIE (Goeletal, 1991), CADSYN (Maher and Zhang, 1991) и CADET (Sycara et al, 1991), все из которых используют прецеденты для генерации новых конструкций. Некоторые системы CBD являются гибридными системами: например, модели (Wang and Howard, 1991), (Rosenman, et al 1991) и (Golding et al, 1991) включают обобщенные знания о дизайне в систему CBD. Рассуждения на основе прецедентов возникли из идей о структуре человеческой памяти (Schank, 1982) и, таким образом, были мотивированы соображениями когнитивной психологии. Однако применение рассуждений на основе прецедентов к проектированию сулит конкретные практические преимущества:

- система проектирования на основе прецедентов не требует полной модели домена, но может создавать полные и сложные проекты даже при небольшой базе знаний;
- проектирование начинается с полных примеров, неявно достигая компромисса между несколькими функциями. Это позволяет избежать проблемы многокритериальной оптимизации;
- начало проектирования с полных примеров снижает сложность и тем самым повышает эффективность решения задач;

- использование прецедентов в качестве источника знаний позволяет обучаться, просто сохраняя новые прецеденты.

В то время как рутинное проектирование может быть выполнено путем простого повторного использования примеров, новые проекты могут быть достигнуты только путем адаптации или комбинирования примеров. Преимущества проектирования на основе прецедентов являются следствием гипотезы о том, что адаптация или комбинирование прецедентов проще, чем создание дизайна с нуля. Есть несколько причин верить в эту гипотезу. Одна из них заключается в том, что адаптация должна быть направлена только на различия между старым и новым использованием случая: например, нам не всегда нужно перепроектировать детали окон, когда здание строится в другой среде. Кроме того, адаптация позволяет лучше учесть тот факт, что спецификации проектирования часто задаются ограничениями (Sycara et al, 1992).

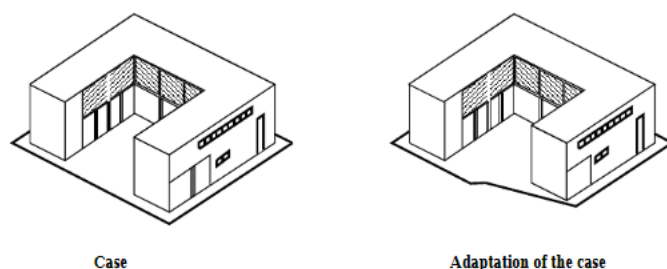


Рисунок 1 – Пример адаптации прецедентов

Для того чтобы проверить, насколько верна эта гипотеза, мы внедрили систему проектирования зданий на основе прецедентов через уменьшение размерности (CADRE) (Faltings, 1991; Hua et al, 1992). CADRE фокусируется на адаптации строительных проектов к новым условиям. Один из примеров, рассмотренных в CADRE, показан на рис. 1. Это здание П-образной формы (дом Фельдера в Лугано, Швейцария), адаптированное к несколько иному

участку. CADRE изменил размеры и топологию корпуса, чтобы получить решение, сохраняющее функциональные возможности и компромиссы в этом корпусе. В процессе реализации CADRE мы столкнулись с семью общими проблемами, связанными с проектированием на основе кейсов. В этой статье мы обсуждаем эти проблемы и способы, которыми мы либо решаем, либо обходим их в CADRE. Это подводит нас к общему обсуждению того, как потенциальные преимущества проектирования на основе конкретных примеров могут быть наилучшим образом реализованы в реальной системе проектирования.

2. Кейсы для проектирования

С самого начала развития ИИ примеры рассматривались как один из наиболее важных источников знаний. Например, игрок в шашки Сэмюэл (Samuel, 1959) использовал библиотеку из примерно 53000 примеров позиций в качестве основы для своей игры. Обучение на примерах — это базовая техника приобретения знаний, которая также применялась для проектирования примеров. Основное различие между обучением на примерах и рассуждениями на основе примеров заключается в том, что вместо того, чтобы составлять обобщенные описания в процессе приобретения знаний, примеры обобщаются по отношению к конкретной проблеме и в процессе решения проблемы. Мы различаем глубокие и неглубокие проектные примеры. Глубокий кейс — это проектное решение с указанием истории его разработки. Поскольку история проектирования является важным источником знаний, глубокие примеры могут дать лучшие результаты, чем мелкие. Моделирование истории проектирования требует наличия общей базы знаний о проектировании, которая является достаточно полной для создания проекта и конкурирующих альтернатив. Большой объем общих знаний, необходимый для представления глубоких примеров, противоречит одному из основных преимуществ рассуждений на

основе примеров - отсутствию необходимости в полной базе знаний. Поэтому в CADRE мы сосредоточились на неглубоких случаях.

В CADRE мы представляем структуру в виде модели CAD: фактическая структура, необходимая для удовлетворения набора требований; компромиссы между функциональными требованиями; негласные соображения, такие как стиль здания. Функциональные особенности, достигаемые структурой, моделируются в символическом словаре, где каждая функциональная особенность отображается на ограничение в модели CAD. Проектирование на основе конкретных примеров особенно полезно, поскольку оно позволяет получить знания о компромиссах, которые иначе трудно формализовать. Сопоставление функциональных особенностей с ограничениями, используемыми в CADRE, делает компромиссы явными в том, как эти ограничения выполняются или нарушаются. Неявные соображения, по определению, не отражаются в явном виде и не могут быть обоснованы. Цель системы проектирования на основе конкретных ситуаций - применить эти знания к новым ситуациям. Далее мы описываем общие проблемы, с которыми мы столкнулись при решении этой задачи в системе CADRE.

3. Проблемы внедрения проектирования на основе прецедентов

Предполагается, что проектирование на основе прецедентов состоит из трех основных процессов: поиска, адаптации и комбинирования. В CADRE на данный момент реализованы процессы поиска и адаптации. В этом разделе мы рассмотрим проблемы, которые были обнаружены в процессе реализации, и способы их решения в CADRE. Обсуждение процесса комбинирования, который мы еще не реализовали, мы оставляем на следующий раздел.

3.1. Проблема сверхсильного сходства

Поиск прецедентов рассматривался как центральный вопрос с самого начала развития case-based reasoning (Schank, 1982; Kolodner, 1984).

Как отмечает Колоднер (Kolodner, 1989), лучший прецедент для использования — это тот, который вносит наибольший вклад в конечный результат. Однако то, какой вклад может внести тот или иной прецедент, становится ясно только после завершения проектирования. Прогнозирование вклада на основе сверхважных характеристик затруднено. В новом контексте дизайна симметрия может быть более важным соображением. В этом случае симметрия может внести наибольший вклад, несмотря на то что метрика структурного сходства оценивает ее как менее перспективную. Выбор метрики зависит от деталей проблемы проектирования; любая фиксированная метрика может определить только сверхсильное сходство. Одно из потенциальных решений - обучение: корректировка метрики сходства путем анализа неудач предыдущих поисков. Подобные наблюдения были сделаны исследователями в других областях применения рассуждений на основе кейсов. В литературе обсуждаются, в частности, различия между «поверхностными» и «глубокими» признаками и их относительные достоинства при индексировании случаев (Hammond, 1989; Birnbaum, 1989; Owens, 1989).

Поскольку индексирование кейсов не является проблемой, специфичной для дизайна, мы не пытались разработать новый подход. Поэтому в CADRE мы позволяем пользователю выбрать кейс с помощью механизма просмотра, основанного на фиксированном индексе функциональных характеристик. На самом деле, такое решение может быть наиболее предпочтительным для пользователя, который хотел бы сохранить контроль над этим аспектом процесса проектирования.

3.2. Адаптация проблемы знаний

Новые проблемы проектирования редко совпадают с теми, для которых был разработан кейс, поэтому для повторного использования кейса в новой проблеме обычно требуется адаптация. Однако неглубокие примеры сами по себе не определяют, как они могут быть адаптированы. Рисунок 2 иллюстрирует два способа формулирования знаний об адаптации:

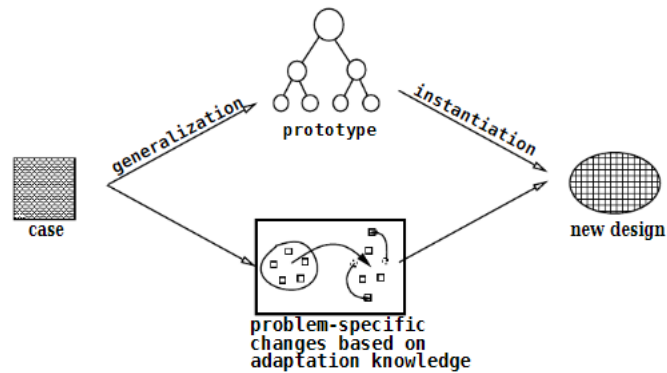


Рисунок 2 – Два способа адаптации

Классифицируя случаи как экземпляры прототипических дизайнов, которые могут быть просто реконструированы. В связи с этим возникает вопрос, зачем вообще нужны случаи, ведь прототипы могли бы выполнять ту же функцию. Путем предоставления специальных знаний об адаптации, которые изменяют аспекты прецедентов вместо того, чтобы регенерировать или реинстанцировать их. Такие адаптационные знания могут храниться вместе с кейсами в библиотеке кейсов, храниться отдельно как общие знания домена или предоставляться пользователем во время выполнения. Для систем проектирования, основанных на кейсах, решение использования специальных адаптационных знаний имеет несколько преимуществ: их легче сформулировать, чем знания генерации (Sycara et al, 1992), и они не должны быть полными, чтобы получить полезную систему проектирования. В CADRE

мы храним конкретные знания об адаптации для каждого случая, состоящие из двух частей.

4. Комбинирование прецедентов

Важным средством получения инновационного дизайна является комбинирование нескольких случаев (Faltings, 1991; Hinrichs, 1991). Различают две формы комбинирования: пересечение и композиция. При пересечении мы объединяем свойства случаев. При композиции мы собираем части структуры, взятые из прецедентов. При рассмотрении проблемы комбинирования прецедентов в рамках CADRE мы обнаружили две следующие проблемы, решения которых пока не найдены.

Основная проблема, связанная с пересечением случаев, заключается в том, что свойства вносящего случая должны быть ассимилированы в принимающий случай. Например, при пересечении банана как исходного случая с прямоугольным зданием как исходным случаем (рис. 8), как правило, только изогнутая форма банана должна быть ассимилирована в здание, но не его размер или цвет. Такая ассимиляция может затронуть каждый элемент изначально прямоугольного здания. Проблема ассимиляции свойств - это проблема определения свойства, которое должно быть перенесено, и точного способа, которым его ассимиляция повлияет на элементы принимаемого случая. Мы пока не нашли решения этой проблемы, но кажется, что идеи интеграции множества абстракций дизайна в CADRE могут быть полезны и для ассимиляции свойств. Функциональные свойства могут быть ассимилированы в другие случаи путем наложения соответствующих ограничений на их модели.

Проблема ассимиляции свойств

Основная проблема, связанная с пересечением случаев, заключается в том, что свойства вносящего случая должны быть ассимилированы в принимающий случай. Например, при пересечении банана как исходного случая с прямоугольным зданием как исходным случаем, как правило, только изогнутая форма банана должна быть ассимилирована в здание, но не его размер или цвет. Такая ассимиляция может затронуть каждый элемент изначально прямоугольного здания. Проблема ассимиляции свойств - это проблема определения свойства, которое должно быть перенесено, и точного способа, которым его ассимиляция повлияет на элементы принимаемого случая. Мы пока не нашли решения этой проблемы, но кажется, что идеи интеграции множества абстракций дизайна в CADRE могут быть полезны и для ассимиляции свойств. Функциональные свойства могут быть ассимилированы в других случаях путем наложения соответствующих ограничений на их модели. Композиция означает объединение частей структуры, взятых из разных случаев. Это требует, прежде всего, декомпозиции прецедентов на части, которые могут быть перекомбинированы независимо друг от друга. Проблема несовместимых абстракций — это проблема поиска декомпозиций случая, которые имеют смысл во всех абстракциях одновременно. Например, соединение двух тупиковых коридоров путем устранения стены между ними может быть простым для представления в геометрической абстракции, но в абстракции схем циркуляции это подразумевает глубокие изменения, которые отнюдь не легко смоделировать. CADRE уже использует такое унифицированное представление, но мы еще не разработали необходимые методы декомпозиции для случаев, необходимых для решения этой проблемы.

5. Заключение

Обучение на основе прецедентов получило признание за свои преимущества в решении проблем проектирования. Однако мы показали, что проектирование на основе прецедентов сопряжено с фундаментальными проблемами, некоторые из которых могут сделать невозможным получение выгоды от обещаний этой парадигмы. Например, не существует способа гарантировать корректность адаптаций без использования завершенной модели домена. Избежание недопустимого обобщения требует явной интеграции компромиссов в несколько абстракций, так что сомнительно, что они могут быть неявными.

В целом, проблемы делятся на три класса:

- те, которые вызывают вычислительную неподатливость и решаются с помощью умных вычислительных механизмов и добавления дополнительных принципов для сужения фокуса. Примерами являются проблемы сложности согласования и сложности последовательной модификации;

- те, которые требуют дополнительных знаний о домене и решаются путем запроса пользователя. Примерами являются проблема суперсходства и проблема знания адаптации;

- те, которые связаны с различными моделями и абстракциями и могут быть решены путем сопоставления с единым представлением. Примерами являются проблема недопустимого обобщения, проблема ассимиляции свойств и проблема несовместимого представления.

Применимость обучения на основе прецедентов в системе проектирования зависит от ожидаемой от нее производительности и степени, в которой область позволяет решать описанные нами проблемы. Опыт работы с

CADRE убедил нас в том, что основная гипотеза проектирования на основе прецедентов, согласно которой адаптация проще, чем генерация, удовлетворяется при проектировании зданий. В подходящих областях рассуждения на основе прецедентов являются перспективным инструментом для будущих интеллектуальных помощников проектировщика.

Ссылки

Birnbaum, L. and Collins, G. 1989. Reminders and Engineering Design Themes: A Case Study in Indexing Vocabulary. Proceedings of Workshop on Case-based Reasoning. 47-51.

Buchberger, B. 1985. Groebner Bases: An Algorithmic Method In Polynomial Ideal Theory. In: (Bose, N. K. ed.) Progress, Directions and Open Problems in Multidimensional Systems Theory. Dordrecht: Reidel, 184-232.

Faltings, B. 1991. Case-Based Representation of Architectural Design Knowledge. Computational Intelligence 2, North-Holland.

Fenves, S. J., Flemming, U, Hendrickson, C., Maher, M.L. and Schmitt, G. 1989. An Integrated Software Environment for Building Design and Construction. Symposium Proceedings for CIFE. Stanford University.

Goel, A. K., Kolodner, J. L. 1991. Towards a Case-based Tool for Aiding Conceptual Design Problem Solving. Proceedings of Workshop on Case-based Reasoning. 109-120

Golding, A. R., Rosenbloom, P. S. 1991. Improving Rule-Based Systems Through Case-based Reasoning. AAAI, 22-27.

Hammond, K.J. 1989a. Case-based Planning. Boston: Academic Press.

- Hammond, K.J. 1989b. On Functionality Motivated Vocabularies: An Apologia. Proceedings of Workshop on Case-based Reasoning. 52-56.
- Hinrichs, T.R. 1991. Problem Solving in Open Worlds: A Case Study in Design. PhD thesis. Georgia Institute of Technology
- Hua, K., Smith, I., Faltings, B., Shi, S. and Schmitt, G. 1992. Adaptation of Spatial Design Cases. Second International Conference on Artificial Intelligence in Design. CMU, Pittsburgh, USA, 559-575.
- Kass, L. and Leake, D. B. and Owens, C.C. 1986. SWALE: A Program that Explains. Explanations Patterns: Understanding Mechanically and Creatively. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 232-254
- Kolodner, J. L. 1984. Retrieval And Organizational Strategies in Conceptual Memory: A Computer Model. Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum Associates.
- Kolodner, J. L. 1989. Judging Which is the Best Case for a Case-based Inference. Proceedings of Workshop on Case-based Reasoning. 77-81.
- Maher, M. L., Zhang, D. M. 1991. Case-based Reasoning in Design. Artificial Intelligence in Design. Butterworth Heinemann. 137-150.
- Owens, C. 1989. Plan Transformations as Abstract Indices. Proceedings of Workshop on Case-based Reasoning. 62-65.
- Rosenman, M. A., Gero, J. S., and Oxman, R. E. 1991. What's in a Case: the Use of Case Bases, Knowledge Bases and Databases in Design. Proceedings of CAAD Future 1991, Zurich, Switzerland. 263-278.
- Samuel, A.L. 1959. Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers. IBM J. Research and Development 3, 210-229.

Saund, E. 1989. Dimensionality-Reduction Using Connectionist Networks. IEEE trans. PAMI 11, 304-314.

Schank, R. C. 1982. Dynamic Memory: A Theory of Reminding and Learning in Computers and People. London: Cambridge University Press.

Schmitt, G. 1990. IBDE, VIKa, ARCHPLAN: Architectures for Design Knowledge Representation, Acquisition and Application. In H. Yoshikawa, T. Holden (Eds.): Intelligent CAD II, North Holland.

Sycara, K.P., Navinchandra, D. 1991. Influences: A Thematic Abstraction for Creative Use of Multiple Cases. Proceedings of Workshop on Case-based Reasoning. 133-144.

Sycara, K.P., Navinchandra, D., Narasimhan, S. 1992. Parametric Adaptation in Case-based Design. Workshop on Case-Based Design, CMU, Pittsburgh, USA.

Wang, J. and Howard, H.C. 1991. A Design-dependent Approach to Integrated Structural Design. Artificial Intelligence in Design. Heinemann. 151-170.

Hua K., Faltings B. Exploring Case-Based building design — CADRE. 2002. Artificial Intelligence for Engineering Design Analysis and Manufacturing. URL: https://www.researchgate.net/publication/2499549_Exploring_case-Based_building_design-CADRE.