

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ

NGUYỄN THỊ HẠNH

**KHUNG HÌNH THỨC HỖ TRỢ ĐẢM BẢO
CHẤT LƯỢNG CHUYỂN ĐỔI MÔ HÌNH**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT PHẦN MỀM

Hà Nội - 2022

Công trình được hoàn thành tại:

Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội.

Người hướng dẫn khoa học: 1. PGS.TS. Hồ Sĩ Đàm
2. TS. Đặng Đức Hạnh

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ tại Hội đồng chấm luận án cấp Đại học Quốc
Gia họp tại: Trường Đại học Công nghệ – Đại học Quốc gia Hà Nội
vào hồi... ngày...tháng...năm...

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam,
- Trung tâm thông tin - Thư viện, Đại học Quốc gia Hà Nội.

TÓM TẮT

Kỹ nghệ hướng mô hình (MDE) đang trở thành một phương pháp phổ biến để phát triển các ứng dụng phần mềm quy mô lớn, phức tạp, trong đó các phép biến đổi mô hình đóng vai trò then chốt để hiện thực hóa các tác vụ. Kiểm thử là kỹ thuật phổ biến nhất được sử dụng để đảm bảo chất lượng chuyển đổi mô hình, tuy nhiên vấn đề này chưa được giải quyết thấu đáo trong MDE.

Cụ thể, hầu hết các cách tiếp cận kiểm thử chuyển đổi mô hình được đề xuất sinh đầu vào kiểm thử dựa trên siêu mô hình đầu vào và cài đặt chuyển, trong khi đó các hàm phân xét kiểm thử được định nghĩa sử dụng các truy vấn thuộc tính mong đợi trên mô hình đầu ra. Việc sinh các kiểm thử dựa trên siêu mô hình gặp phải hạn chế do kích thước bộ ca kiểm thử lớn, nhiều ca kiểm thử trùng lặp hoặc không có nhiều ý nghĩa, hơn nữa chúng độc lập với việc định nghĩa các hàm phân xét đầu ra. Trong khi đó, các kỹ thuật kiểm thử dựa trên cài đặt chuyển không có tính phổ quát, do có một lượng lớn ngôn ngữ cài đặt chuyển đổi mô hình được thiết kế theo các định hướng riêng biệt. Để giải quyết các hạn chế này, các cách tiếp cận kiểm thử chuyển đổi mô hình hướng đặc tả được đề xuất do có nhiều ưu điểm như: dễ hiểu đối với những người mô hình hóa, độc lập với ngôn ngữ cài đặt, cho phép kiểm tra nhiều tính chất của chuyển hơn phân tích siêu mô hình. Thách thức đặt ra cho kiểm thử chuyển hướng đặc tả là cần có ngôn ngữ đặc tả có khả năng diễn đạt trực quan, chính xác tập yêu cầu chuyển, và hỗ trợ cho việc sinh ca kiểm thử hiệu quả.

Xuất phát từ thực tế này, luận án đề xuất một phát triển một khung hình thức hỗ trợ kiểm thử hướng đặc tả chuyển đổi mô hình. Các đóng góp chính của luận án như sau. Đầu tiên chúng tôi đề xuất một ngôn ngữ đặc tả chính xác và trực quan cho chuyển đổi mô hình dựa trên các mẫu chuyển đổi đồ thị. Tiếp đó chúng tôi đề xuất các kỹ thuật phân tích đặc tả để sinh các bộ ca kiểm thử đánh giá các tính chất khác nhau của chuyển đổi mô hình. Để đánh giá hiệu quả của phương pháp đề xuất chúng tôi tiến hành đánh giá chất lượng của bộ ca kiểm thử trên các chuyển đổi mô hình được cài đặt bởi các ngôn ngữ cài đặt khác nhau.

Từ khóa: Chuyển đổi mô hình, Kỹ nghệ hướng mô hình, Kiểm thử chuyển đổi mô hình.

MỞ ĐẦU

Đặt vấn đề

Kỹ nghệ hướng mô hình (MDE: Model-Driven Engineering) đang trở thành một phương pháp kỹ thuật phổ biến để phát triển các ứng dụng phần mềm quy mô lớn, trong đó việc sử dụng các mô hình và phép biến đổi mô hình làm nguyên tắc kỹ nghệ chính.

Ý tưởng chính của kỹ nghệ hướng mô hình là sử dụng các chế tác mô hình hiện thực hóa các yêu cầu phần mềm ở các mức độ trừu tượng khác nhau và tăng khả năng tự động hóa các nhiệm vụ phát triển sử dụng kỹ thuật chuyển đổi mô hình. Trong nghiên cứu này, luận án tập trung giải quyết các thách thức của bài toán kiểm thử chuyển đổi mô hình cho mục đích đảm bảo chất lượng chuyển đổi mô hình.

Nhìn chung, có ba vấn đề lớn còn tồn tại nhiều thách thức chưa được giải quyết triệt để trong nghiên cứu hiện có về kiểm thử chuyển đổi mô hình. (1) Thứ nhất, các phương pháp tiếp cận kiểm thử hiện nay vẫn rất chuyên biệt cho một ngôn ngữ cài đặt chuyển đổi mô hình cụ thể, điều này hạn chế việc áp dụng các kết quả nghiên cứu trong lĩnh vực này nói chung. Bên cạnh đó, các phương pháp tiếp cận kiểm thử hộp đen dựa cơ sở kiểm thử là đặc tả chuyển cho phép tạo ra các bộ ca sử dụng có khả năng kiểm thử trên nhiều ngôn ngữ cài đặt chuyển khác nhau, cũng như có tính tái sử dụng cao. (2) Thứ hai, kiểm thử không chứng minh được các thuộc tính chất lượng của chuyển đổi mô hình nhưng là một phương pháp tiếp cận hiệu quả, dễ tiến hành để xác minh thuộc tính chất lượng chuyển trên các trường hợp kiểm thử cụ thể. Tuy nhiên hầu hết các cách tiếp cận kiểm thử hiện tại chỉ tập trung bảo kiểm tra tính đúng đắn về mặt ngữ pháp và bảo toàn thông tin tĩnh, trong khi đó việc kiểm tra các thuộc tính chất lượng khác

của chuyển đổi mô hình chưa được xem xét một cách thấu đáo. (3) Cuối cùng, chuyển đổi từ mô hình sang mô hình (Model-to-Model Transformation - M2M) là kịch bản sử dụng phổ biến nhất trong kỹ nghệ phần mềm hướng mô hình, song hầu hết các công cụ hỗ trợ cài đặt và đánh giá chất lượng chuyển trong công nghiệp hiện nay mới tập trung vào loại chuyển từ mô hình sang văn bản, loại chuyển được áp dụng cho mục đích sinh mã nguồn từ thiết kế. Do đó cần có những nỗ lực cao hơn cho việc phát triển các kỹ thuật hỗ trợ phát triển và đảm bảo chất lượng loại chuyển M2M để hiện thực hóa thành công kỹ nghệ hướng mô hình.

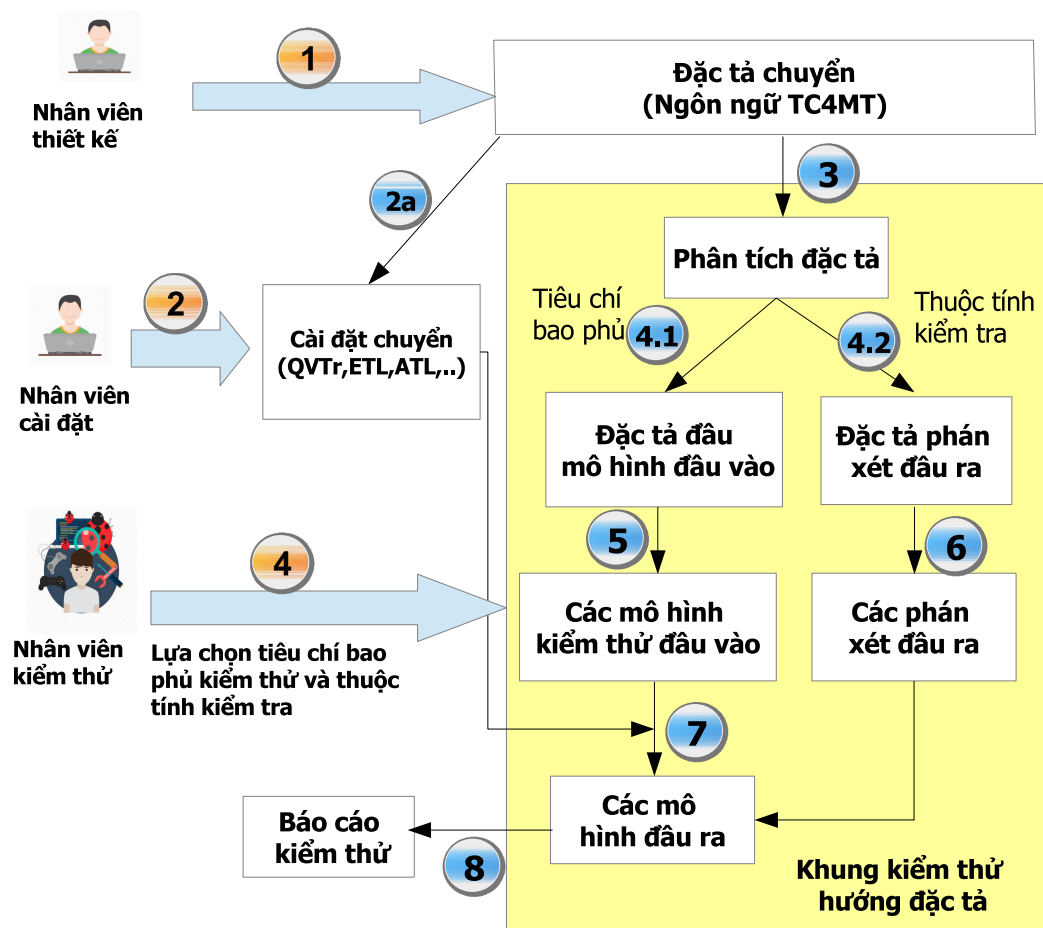
Để giải quyết những vấn đề như vậy, luận án đề xuất một ngôn ngữ đặc tả khai báo, trực quan và hình thức cho chuyển đổi mô hình. Ngôn ngữ đặc tả này cho phép nhà thiết kế mô tả các yêu cầu chuyển đổi mô hình như tiên điều kiện, hậu điều kiện, bất biến chuyển, quy tắc chuyển (luật chuyển) một cách trực quan sử dụng các mẫu đồ thị để dễ hiểu và dễ thẩm định. Trong đó, tập luật chuyển được đặc tả dựa trên cấu trúc của các luật chuyển đổi đồ thị của văn phạm đồ thị ba (*Triple Graph Grammars*) [?], cách tiếp cận này cho phép sử dụng ngữ nghĩa hình thức của chuyển đổi đồ thị sử dụng tập luật ba để định nghĩa chính xác các yêu cầu về hành vi của bộ chuyển đổi mô hình. Từ đó, đặc tả hình thức tạo điều kiện cho việc phân tích quan hệ giữa các yêu cầu chuyển ở mức đặc tả khai báo để chỉ định các trường hợp kiểm thử kiểm tra các thuộc tính chất lượng khác nhau về khía cạnh chức năng của bộ chuyển đổi mô hình. Bên cạnh đó, luận án cũng xác định một tập hợp các tiêu chí kiểm thử hộp đen định hướng kiểm thử viên kiểm thử bộ chuyển đổi mô hình đảm bảo bao phủ các khía cạnh yêu cầu khác nhau bên trong đặc tả chuyển. Luận án cũng đưa ra một số hướng dẫn về cách thức định nghĩa hàm phán xét kiểm thử tương ứng để kiểm tra tính đúng đắn ngữ pháp, tính đầy đủ, tính bảo toàn ngữ nghĩa tĩnh, tính bảo toàn ngữ nghĩa động, tính kết thúc và tính hội tụ của các bộ chuyển đổi mô hình.

Đối tượng nghiên cứu của luận án tập trung vào đặc tả và kiểm thử hướng đặc tả các chuyển đổi mô hình sang mô hình, loại chuyển đổi phổ biến nhất trong MDE. Trong đó đặc tả chuyển được định nghĩa dưới dạng một DSL dựa trên văn phạm đồ thị ba. Để sinh ca kiểm thử từ đặc tả, luận án đề xuất một phương pháp phân tích quan hệ phụ thuộc luật ở mức khai báo để chỉ định các điều kiện kiểm thử cho mục đích sinh mô hình kiểm

thử và các hàm phán xét kiểm thử một cách nhất quán từ đặc tả. Nghiên cứu được thực nghiệm trên một số ví dụ chuyển phổ biến trên các ngôn ngữ chuyển khác nhau để chỉ ra tính hiệu quả của phương pháp đề xuất.

Mục tiêu nghiên cứu và đóng góp chính của luận án

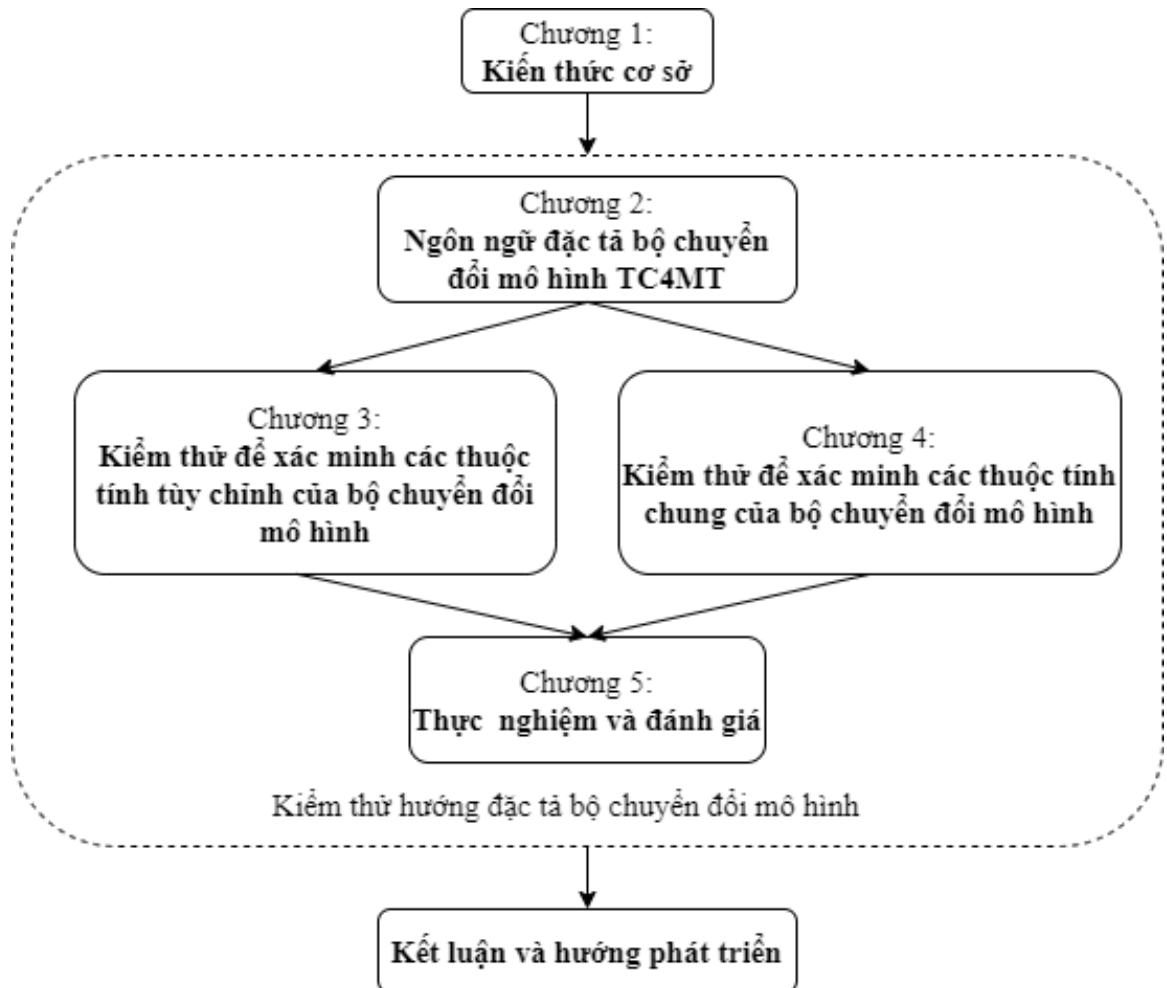
Để kiểm thử các chuyển đổi mô hình sang mô hình, luận án trình bày một khung tiến trình kiểm tra chuyển hướng đặc tả như trình bày trong hình 1.



Hình 1: Ngữ cảnh nghiên cứu

Cấu trúc luận án

Luận án “*Khung hình thức hỗ trợ đảm bảo chất lượng chuyển đổi mô hình*” bao gồm sáu chương. Trong đó *Mở đầu* trình bày về lý do chọn đề tài, mục đích, nội dung nghiên cứu, đóng góp của luận án. Các chương còn lại được tổ chức như trong Hình 2, cụ thể như sau:



Hình 2: Cấu trúc luận án.

Chương 1

KIẾN THỨC CƠ SỞ

1.1 Phát triển bộ chuyển đổi mô hình

1.1.1 Các phép chuyển đổi mô hình

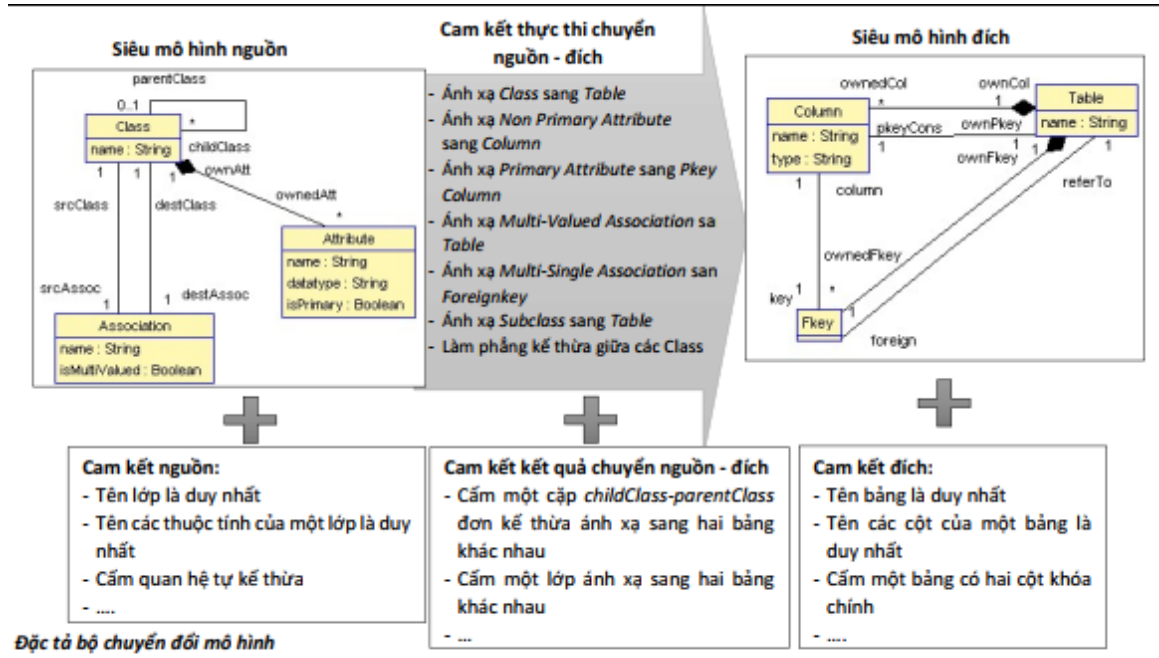
Kỹ nghệ hướng mô hình (MDE: Model Driven Engineering) đề xuất việc sử dụng chủ động các mô hình để tiến hành các giai đoạn khác nhau của phát triển phần mềm. Nhóm Quản lý Đối tượng (OMG: Object Management Group) đã tiêu chuẩn hóa các khái niệm về MDE trong sáng kiến Kiến trúc hướng mô hình (MDA). Trong bối cảnh MDE, chuyển đổi mô hình được yêu cầu để thực hiện việc chuyển đổi giữa các ngôn ngữ và các mức độ trừu tượng khác nhau.

1.1.2 Ví dụ chuyển đổi từ sơ đồ lớp UML sang lược đồ cơ sở dữ liệu quan hệ

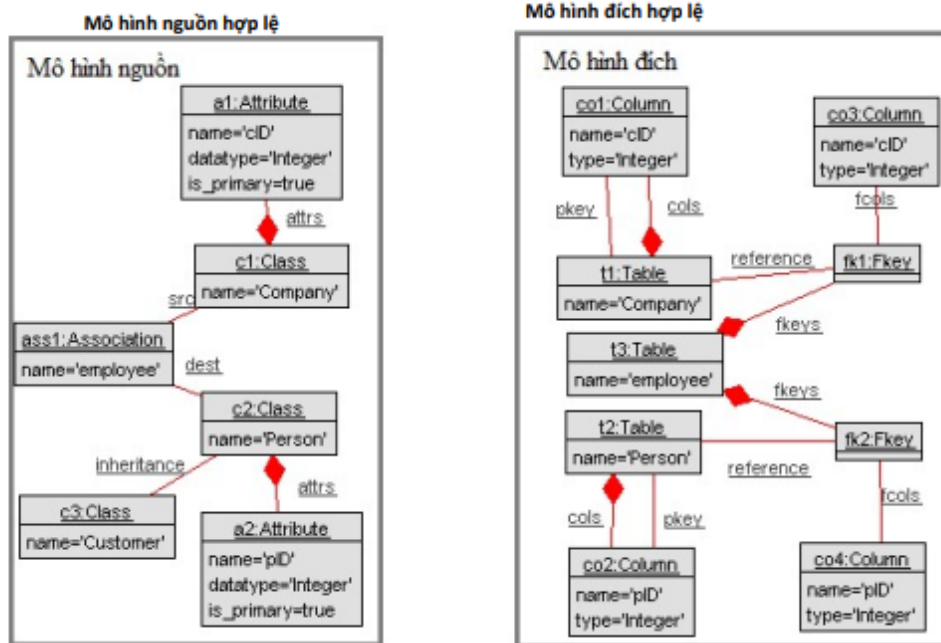
Để minh họa chi tiết cho kỹ thuật chuyển đổi mô hình, luận án sử dụng ví dụ chuyển từ sơ đồ lớp UML sang lược đồ cơ sở dữ liệu quan hệ làm ví dụ minh họa.

1.1.3 Cài đặt bộ chuyển đổi mô hình

Các hướng tiếp cận cài đặt động cơ chuyển đổi mô hình M2M có thể được phân ra thành các nhóm chính: cách tiếp cận dựa trên quan hệ/khai báo,



Một thực thi chuyển cụ thể



Hình 1.1: Ví dụ chuyển từ sơ đồ lớp UML sang mô hình lược đồ cơ sở dữ liệu quan hệ

cách tiếp cận dựa trên mệnh lệnh/thực thi, cách tiếp cận dựa trên chuyển đổi đồ thị và cách tiếp cận lai.

1.1.4 Đảm bảo chất lượng bộ chuyển đổi mô hình

Chất lượng chuyển đổi mô hình ảnh hưởng trực tiếp tới chất lượng của sản phẩm phần mềm làm ra: Đúng đắn về kiểu (Type-correctness); Bảo tồn ngữ nghĩa tĩnh (Preservation of static semantics of models); Bảo tồn ngữ nghĩa động (Preservation of dynamic semantics of models); Tính đúng đắn tương ứng (Correspondence correctness); Đúng đắn về ngữ nghĩa chuyển đổi mô hình (Semantics of model transformation).

Kiểm thử (Testing) là thực hiện chạy các ca kiểm thử trên chương trình chuyển đổi để phát hiện ra các lỗi của chương trình chuyển, đánh giá hiệu quả của chương trình.

1.2 Kiểm thử bộ chuyển đổi mô hình

Hai phương pháp tiếp cận chính: Kiểm thử hộp đen; kiểm thử hộp trắng. Ba giai đoạn chính: Phân tích điều kiện kiểm thử và sinh ca kiểm thử; Thực thi kiểm thử; Đánh giá kết quả kiểm thử.

1.3 Văn phạm đồ thị ba

Văn phạm ba đồ thị (TGGs) là một khái niệm đã được thiết lập tốt để đặc tả và thực thi chuyển đổi mô hình hai chiều trong MDE. TGGs được định nghĩa dựa trên khái niệm về văn phạm đồ thị (graph grammar) và các đồ thị ba (triple graph).

Definition 1. (Đồ thị ba và cấu xạ đồ thị)

Definition 2. (Luật TGGs khai báo)

1.4 Tổng kết chương

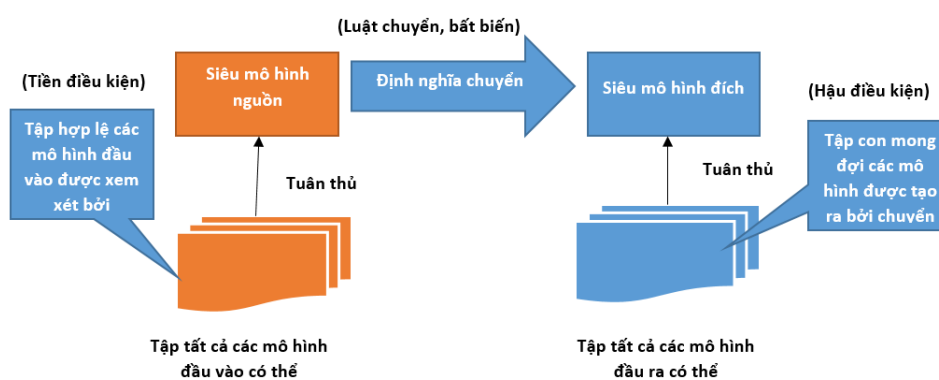
Trong chương này, luận án đã trình bày tóm tắt các kiến thức được sử dụng trong các chương tiếp theo.

Chương 2

NGÔN NGỮ ĐẶC TẢ BỘ CHUYỂN ĐỔI MÔ HÌNH TC4MT

2.1 Giới thiệu

Những thành phần của một đặc tả chuyển có thể được quan sát như ở hình 2.1.



Hình 2.1: Các thành phần của đặc tả bộ chuyển đổi mô hình

2.2 Các nghiên cứu liên quan

2.3 Ngôn ngữ đặc tả bộ chuyển đổi mô hình TC4MT

2.3.1 Cú pháp trừu tượng của đặc tả TC4MT

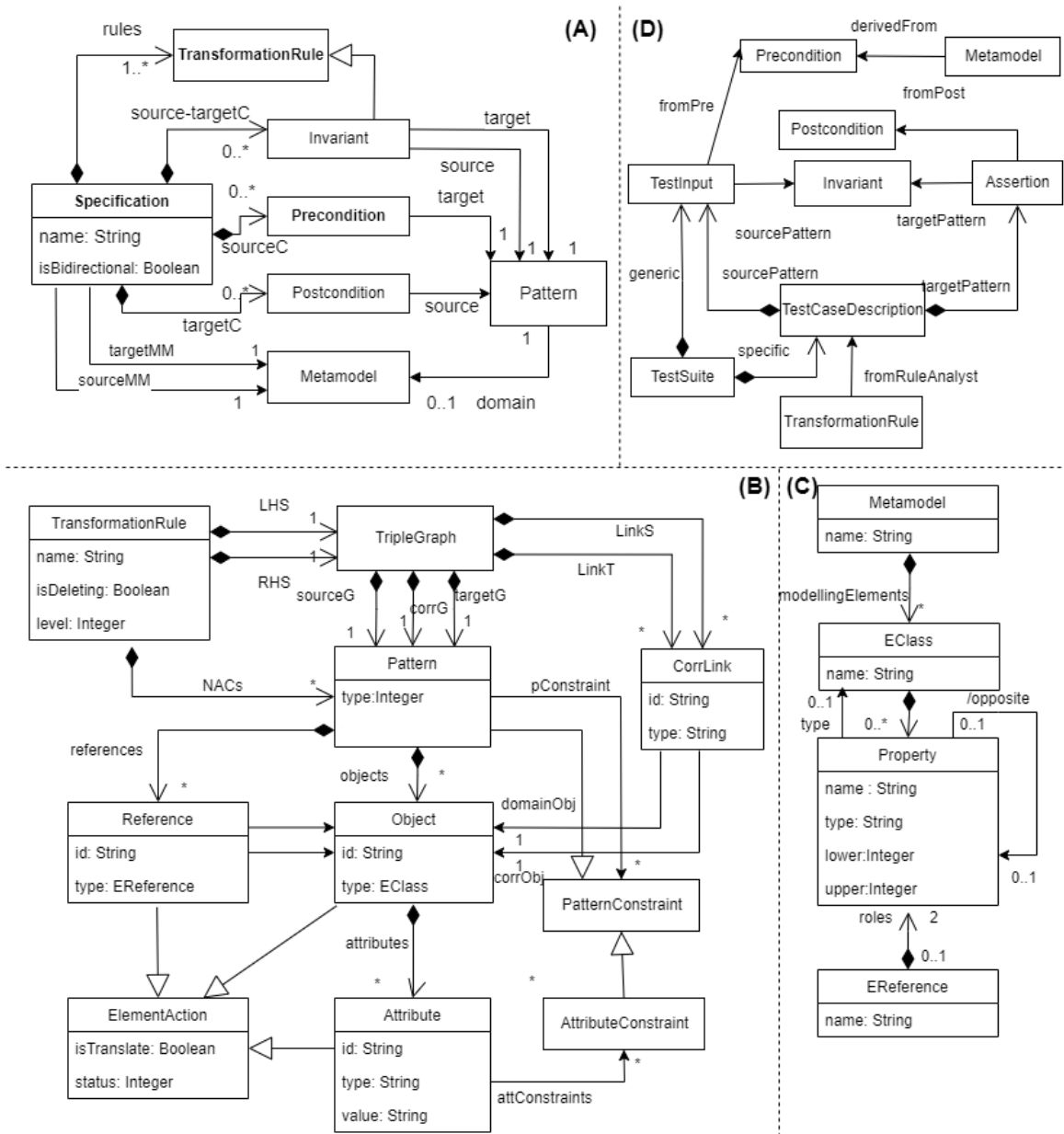
Definition 3. (Đặc tả chuyển.) Một đặc tả chuyển $TS = (P_{PR}, P_{PO}, P_I, TR)$ bao gồm một P_{PR} tiên điều kiện, một tập P_{PO} hậu điều kiện, một tập P_I bất biến và TR luật chuyển.

Definition 4. (Cấu trúc phẳng của đồ thị ba) Cho một đồ thị ba $G = (G^S \xrightarrow{s_G} G^C \xrightarrow{t_G} G^T)$. Cấu trúc làm phẳng (flattening construction) của FG của G bao gồm một đồ thị trơn với các tập phần tử tách biệt như sau: $FG = G^S + G^C + G^T + LinkS(G) + LinkT(G)$ như sau:

- G^S , G^T , và G^C là ba đồ thị thành phần biểu diễn cấu trúc mô hình nguồn, đích và tương ứng. Các đồ thị G^S , G^C , và G^T là các đồ thị trơn bao gồm các phần tử nút đối tượng và liên kết cạnh, riêng G^C không chứa các liên kết cạnh.
- $LinkS(G) = \{(x, y) \mid x \in G_V^C, y \in G_V^S, s_G(x) = y\}$ chứa tập các liên kết liên mô hình tương ứng và nguồn, đại diện cho cấu xạ đồ thị từ mô hình tương ứng sang mô hình nguồn. Mỗi liên kết đặc trưng bởi cặp nút đối tượng thuộc mô hình tương ứng và đối tượng mô hình nguồn.
- $LinkT(G) = \{(x, y) \mid x \in G_V^C, y \in G_V^T, t_G(x) = y\}$ chứa tập các liên kết liên mô hình tương ứng và đích, đại diện cho cấu xạ đồ thị từ mô hình tương ứng sang mô hình đích. Mỗi liên kết đặc trưng bởi cặp nút đối tượng thuộc mô hình tương ứng và đối tượng mô hình đích.
- $\forall x \mid ((x, y) \in LinkS) \vee ((x, y) \in LinkT) \Leftrightarrow \exists (y_1, y_2) \mid (y_1 \in G_V^S) \wedge (y_2 \in G_V^T) \wedge (s_G(x) = y_1) \wedge (t_G(x) = y_2)$.

2.3.2 Cú pháp cụ thể của TC4MT

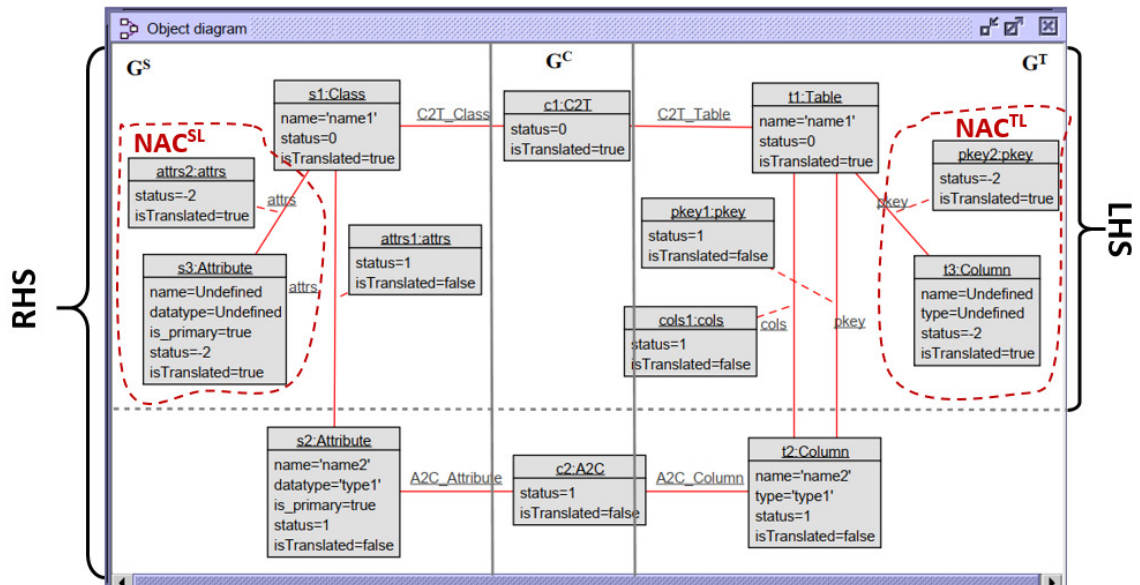
Ngôn ngữ TC4MT đóng gói cấu trúc biểu diễn của mỗi đơn vị yêu cầu của định nghĩa chuyển bởi một mô hình định kiểu duy nhất. Các mô hình



Hình 2.2: Siêu mô hình (Metamodel) của ngôn ngữ TC4MT

này được biểu diễn dưới dạng sơ đồ lớp UML và có thể được bổ sung các biểu thức ràng buộc OCL.

- *status* = 0 nếu phần tử thuộc về LHS và được giữ nguyên (không thay đổi) bởi áp dụng luật.
- *status* = 1 nếu phần tử thuộc về RHS và mới được tạo bởi áp dụng luật.
- *status* = 2 nếu phần tử thuộc về LHS và bị xóa bởi áp dụng luật.



Hình 2.3: Luật *PriAttribute2Column* khai báo trong đặc tả TC4MT

- $status = 3$ nếu các phần tử thuộc về LHS nhưng có thuộc tính được cập nhật (thay đổi) trong RHS do áp dụng luật.
- $status = -1$ nếu phần tử xuất hiện trong các mẫu tích cực (positive pattern) trên tiền điều kiện, hậu điều kiện và bất biến chuyển.
- $status = -2$ nếu phần tử được biểu diễn trong các mẫu phủ định (negative pattern) trên tiền điều kiện, hậu điều kiện và bất biến chuyển, hoặc điều kiện áp dụng phủ định của luật (NAC).

2.3.3 Phân tích đặc tả chuyển

2.4 Thực thi các cam kết của đặc tả chuyển TC4MT

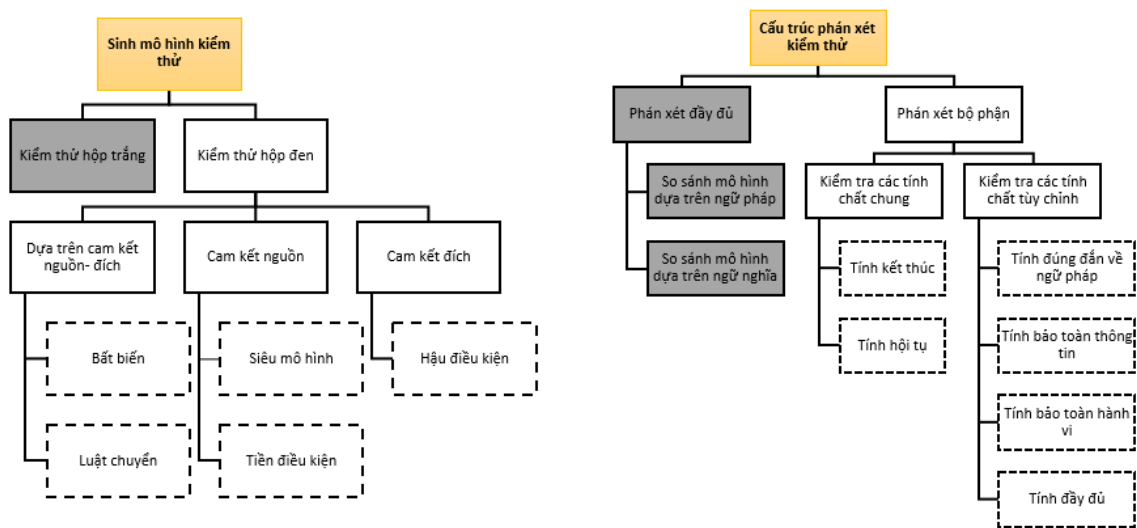
2.4.1 Biên dịch mẫu tiên điều kiện và hậu điều kiện

2.4.2 Biên dịch các bất biến phủ định

2.4.3 Biên dịch các luật chuyển

2.5 Kiểm thử hướng đặc tả các bộ chuyển đổi mô hình

Hình 2.4 tổng hợp các cách tiếp cận được sử dụng để sinh mô hình kiểm thử và cấu trúc các hàm phán xét kiểm thử chuyển đổi mô hình trong các nghiên cứu liên quan.



Hình 2.4: Phân loại các cách tiếp cận kiểm thử chuyển đổi mô hình

2.5.1 Sinh mô hình kiểm thử hướng đặc tả

2.5.2 Dự đoán đầu ra kiểm thử dựa trên đặc tả

Kiểm thử là phương pháp tiếp cận hiệu quả và dễ thực hiện để xác minh các thuộc tính chất lượng chuyển đổi mô hình. Để xác minh các thuộc tính chất lượng chuyển sử dụng phương pháp kiểm thử, luận án đề xuất việc phân tích điều kiện đảm bảo các thuộc tính chất lượng của chuyển ở mức độ đặc tả, từ đó chỉ định cơ sở cho việc cấu trúc các hàm phát xét kiểm thử đánh giá các thuộc tính chất lượng chuyển. Tùy thuộc vào thuộc tính chất lượng được đánh giá các phán xét đầu ra của kiểm thử cần được liên kết với các bộ mô hình kiểm thử đầu vào phù hợp.

Tính đúng đắn về ngữ pháp

Definition 5. (Tính đúng đắn về ngữ pháp của chương trình chuyển đổi tiến). Một chuyển đổi mô hình $MT : \mathcal{L}(\mathcal{TG}^S) \Rightarrow \mathcal{L}(\mathcal{TG}^T)$ dựa trên các luật chuyển tiến tr^F là đúng đắn về cú pháp nếu: với mỗi chuỗi áp dụng chuyển đổi tiến tr^{F^*} từ một mô hình nguồn hợp lệ G^S ($G^S \in \mathcal{L}(\mathcal{TG}^S)$, $G^S \models P_{PR}$) sang một mô hình đích G^T , thì G^T phải là mô hình đích hợp lệ về cú pháp ($G^T \in \mathcal{L}(\mathcal{TG}^T)$, $G^T \models P_{PO}$).

Tính đúng đắn về ngữ nghĩa

Definition 6. (Tính đúng đắn về ngữ nghĩa của chương trình chuyển đổi tiến). Mỗi chuyển đổi mô hình $MT : \mathcal{L}(\mathcal{TG}^S) \Rightarrow \mathcal{L}(\mathcal{TG}^T)$ dựa trên các luật chuyển tiến là đúng đắn về ngữ nghĩa nếu: với mỗi mô hình nguồn hợp lệ $G^S \in \mathcal{L}(\mathcal{TG}^S)$ có thể chuyển sang một mô hình đích G^T thông qua chuỗi áp dụng chuyển đổi tiến tr^{F^*} thì mỗi thuộc tính α của G^S xác định trên miền ngữ nghĩa của ngôn ngữ $\mathcal{L}(\mathcal{TG}^S)$ cũng được dịch sang thuộc tính δ tương ứng của mô hình đích G^T được xác định trên miền ngữ nghĩa của ngôn ngữ $\mathcal{L}(\mathcal{TG}^T)$.

Tính đầy đủ

Definition 7. (Tính đầy đủ của chương trình chuyển đổi tiến). Một chuyển đổi mô hình $MT : \mathcal{L}(\mathcal{TG}^S) \Rightarrow \mathcal{L}(\mathcal{TG}^T)$ dựa trên các luật chuyển tiến tr^F là đầy đủ (completeness) nếu với mọi mô hình nguồn hợp lệ G^S đều tồn tại một chuyển đổi tiến trên G^S kết thúc và tạo ra mô hình đích G^T tương

ứng. Tính đầy đủ mạnh mẽ của chuyển đổi tiến yêu cầu với mọi mô hình đích hợp lệ G^T) đều tồn tại một mô hình nguồn hợp lệ G^S và chuỗi áp dụng chuyển tiến tr^{F*} trên mô G^S để tạo ra G^T .

Đảm bảo hành vi chức năng chương trình chuyển đổi mô hình

Definition 8. (Tính kết thúc của chương trình chuyển đổi tiến) Một chuyển đổi mô hình $MT : \mathcal{L}(\mathcal{T}G^S) \Rightarrow \mathcal{L}(\mathcal{T}G^T)$ dựa trên các luật chuyển tiến tr^F là kết thúc (termination) nếu với mọi mô hình nguồn hợp lệ G^S , một chuỗi luật chuyển đổi tiến tr^F có khả năng áp dụng trên G^S thì việc áp dụng chuyển phải đạt tới trạng thái hệ thống mà ở đó không luật nào có khả năng áp dụng thêm.

Definition 9. (Tính hội tụ của chương trình chuyển đổi tiến) Một chuyển đổi mô hình $MT : \mathcal{L}(\mathcal{T}G^S) \Rightarrow \mathcal{L}(\mathcal{T}G^T)$ dựa trên các luật chuyển tiến tr^F là hội tụ nếu với mọi mô hình nguồn hợp lệ G^S nếu tồn tại hai chuỗi luật chuyển kết thúc khác nhau có khả năng áp dụng trên nó và tạo ra hai mô hình đích G^T và $G^{T'}$ thì hai mô hình đích này phải tương đồng với nhau (về cấu trúc, ngữ nghĩa).

2.6 Đánh giá ngôn ngữ TC4MT

Tương tự như đặc tả phần mềm điển hình, một ngôn ngữ đặc tả chuyển đổi mô hình đề xuất cần giải quyết ba thách thức chính sau: (1) Phương tiện diễn đạt trực quan dễ hiểu; (2) Khả năng đặc tả đầy đủ, chính xác tập yêu cầu; (3) Khả năng thẩm định được.

2.7 Tổng kết chương

Kiểm thử hướng đặc tả là một cách tiếp cận kiểm thử chuyển đổi mô hình đầy hứa hẹn, giúp kiểm thử chuyển một cách có hệ thống và có tính dựng dựng phổ quát cao do độc lập với nền tảng cài đặt.

Bảng 2.1: So sánh hình thức diễn đạt các ngôn ngữ đặc tả chuyển đổi mô hình

Phương tiện diễn đạt	TC4MT (2021)	Pamomo (2011)	DSLTrans (2014)	Deltra (2014)	TL (2020)	OCL Contract (2010)	Tract (2012)
Dựa trên chuẩn MOF	x	x	x	x	x	x	x
Dựa trên mẫu thiết kế	x	x	x	x	x	x	x
Có ngữ nghĩa hình thức	x	x		x	x	x	x
Có định dạng văn bản	x	x			x	x	x
Có định dạng đồ thị	x	x	x	x			

Bảng 2.2: So sánh khả năng diễn đạt các đặc trưng của chuyển đổi mô hình

Khả năng diễn đạt	TC4MT (2021)	Pamomo (2011)	DSLTrans (2014)	Deltra (2014)	TL (2020)	OCL Contract (2010)	Tract (2012)
Cam kết nguồn	x	x	x	x	x	x	x
Cam kết đích	x	x	x	x	x	x	x
Cam kết quan hệ nguồn-đích	x	x		x	x	x	x
Đặc tả hành động thực thi của luật chuyển	x	x			x	x	x
Đặc tả chuyển hai chiều	x	x	x	x			x
Đặc tả quan hệ luật			x	x	x		

Chương 3

Kiểm thử để xác minh các thuộc tính tùy chỉnh dựa trên đặc tả

3.1 Giới thiệu

Để sinh tập mô hình kiểm thử cho kiểm thử chuyển đổi mô hình, hầu hết các phương pháp đề xuất điều chỉnh kỹ thuật thiết kế ca kiểm thử cho phần mềm để áp dụng cho kiểm thử chuyển đổi mô hình.

3.2 Các nghiên cứu liên quan

Đề xuất của luận án về kiểm thử dựa trên các cam tính của đặc tả chuyển (tiền điều kiện, hậu điều kiện, bất biến chuyển) liên quan tới một số cách tiếp cận đề xuất cho việc sinh mô hình kiểm thử tự động, đề xuất các tiêu chí bao phủ kiểm thử để định hướng quá trình lựa chọn ca kiểm thử và cấu trúc hàm phân xét kiểm thử tương ứng.

3.3 Sinh mô hình kiểm thử dựa trên đặc tả

3.3.1 Phân tích phân vùng tự động trên siêu mô hình

Để phân vùng tương đương không gian mô hình hóa định nghĩa bởi siêu mô hình, cách tiếp cận chung là phân tích cấu trúc của siêu mô hình để tìm

Bảng 3.1: Giá trị đại diện cho các đầu liên kết

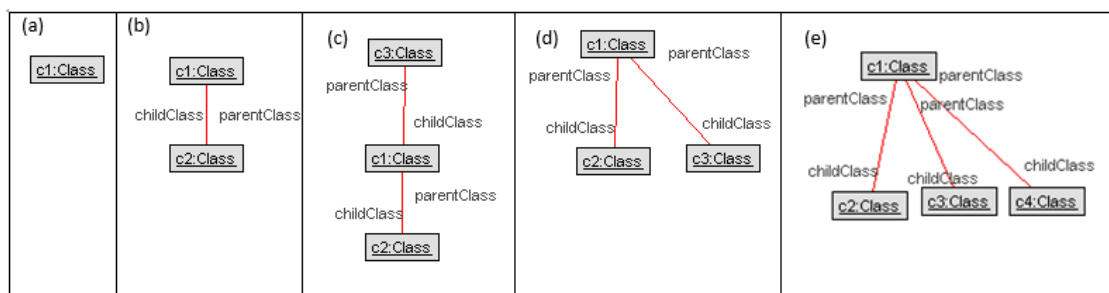
Multiplicity property	Representative values
0	0
1	1
0..1	0, 1
0..*	0, 1, [>1]
1..*	1, 2, [>2]
N..*	N, N+1, [$> (N+1)$]
N..M	N, N+1, M-1, M

các phân tử phân vùng và chỉ định các giá trị đại diện phân vùng.

Definition 10. Phân vùng (Partition) Một phân vùng của tập phân tử là một tập hợp gồm n giải giá trị A_1, A_2, \dots, A_n sao cho A_1, A_2, \dots, A_n là không giao nhau và hợp của các giải giá trị này ta được tập ban đầu. Những tập con này được gọi là dải (Range).

3.3.2 Kết hợp phân vùng với các cam kết chuyển đổi mô hình

Như đã trình bày trong Chương 2, các cam kết trong đặc tả chuyển có thể được biên dịch sang các biểu thức OCL nhị phân. Do đó có thể sử dụng các biểu thức này như các biểu thức phân vùng để lựa chọn mô hình kiểm thử trên tập mô hình đầu vào của chuyển đổi mô hình. Việc biểu diễn nhất quán các biểu thức phân vùng thu được từ đặc tả và cấu trúc siêu mô hình cho phép tìm kiếm phạm vi sinh mô hình kiểm thử tự động với kích thước hợp lý như ở hình minh họa sau.



Hình 3.1: Các mô hình đầu vào hợp lệ của bộ chuyển đổi mô hình

3.3.3 Các tiêu chí kiểm thử bao phủ dựa trên siêu mô hình hiệu quả

Có hai chiến lược kiểm thử cho phần mềm nói chung và cho các bộ chuyển đổi mô hình nói riêng là: kiểm thử tích cực (positive testing) và kiểm thử tiêu cực (negative testing). Trong khi các bộ ca kiểm thử tích cực thường được sử dụng để kiểm tra các khía cạnh khác nhau của tính đúng đắn (đúng đắn về ngữ pháp, đúng đắn về ngữ nghĩa bao gồm bảo toàn thông tin tĩnh và bảo toàn hành vi) thì các bộ ca kiểm thử tiêu cực thường được sử dụng để kiểm tra các ngoại lệ của chương trình.

Cho mục đích sinh các bộ ca kiểm thử kiểm tra ngoại lệ của bộ chuyển đổi mô hình, luận án đề xuất phân tích các cam kết tiền điều kiện phủ định như là cơ sở kiểm thử. Luận án đề xuất các tiêu chí bao phủ kiểm thử tập phân vùng không hợp lệ của đầu vào bộ chuyển đổi mô hình như sau: (1) Phủ tiền điều kiện đơn; (2) Phủ cặp tiền điều kiện.

Cho mục đích sinh các bộ ca kiểm thử kiểm tra tính đúng đắn của bộ chuyển đổi mô hình, luận án đề xuất phân tích các mẫu phân vùng trên siêu mô hình, mẫu nguồn trong cam kết nguồn-đích làm cơ sở kiểm thử. Luận án đề xuất các tiêu chí bao phủ kiểm thử sau: (3) Phủ vùng; (4) Phủ phân vùng; (5) Phủ thuộc tính lớp; (6) Phủ bất biến.

3.4 Cấu trúc hàm phán xét kiểm thử

Kiểm tra tính đúng đắn về ngữ pháp của bộ chuyển đổi mô hình Để kiểm tra tính đúng đắn về ngữ pháp luận án đề xuất sử dụng tập mô hình kiểm thử được thiết kế theo chiến lược kiểm thử khẳng định và đầu ra mong đợi được cấu trúc như hàm phán xét kiểm thử sau.

$O1(mtout, P_{PO}):$ Boolean is

do

$result := mtout.satisfies(\forall p \mid p \in P_{PO} \wedge p.type = negative)$

end

Kiểm tra tính đầy đủ của bộ chuyển đổi mô hình

Để kiểm tra tính đầy đủ luận án đề xuất sử dụng tập mô hình kiểm thử được thiết kế theo chiến lược kiểm thử phủ định và hàm phán xét kiểm thử tương tự như đánh giá tính đúng đắn về ngữ pháp.

Kiểm tra tính đảm bảo toàn thông tin của bộ chuyển đổi mô hình

Tính bảo toàn thông tin tính liên quan tới cam kết nguồn - đích, luận án đề xuất sử dụng tập mô hình kiểm thử bao phủ bất biến và luật chuyển và hàm phán xét kiểm thử được cấu trúc như sau.

O2(mtout, mt, p_I): Boolean is

do

result := mt.satisfies(p^S) and mtout.satisfies(p^T)

end

Cho một bất biến tích cực, mẫu nguồn và mẫu đích của nó được dịch sang biểu thức phân loại nhị phân tương ứng là p^S, p^T , ta có hàm phán xét kiểm thử $O2$ với tham số là mô hình kiểm thử đầu vào mt , đầu ra thực sự $mtout$ và bất biến p_I chứa mẫu nguồn p^S , mẫu đích p^T .

3.5 Tổng kết chương

Phân tích các mẫu đồ thị trên mô hình nguồn dựa trên phân tích đặc tả chuyển và siêu mô hình có thể giúp cấu trúc bộ ca kiểm thử kiểm tra một số thuộc tính chất lượng của chuyển đổi mô hình.

Chương 4

Kiểm thử dựa trên phân tích tập luật chuyển đổi mô hình

4.1 Giới thiệu

4.2 Phân tích quan hệ phụ thuộc luật

Definition 11. (Produce-Use (PU))

Definition 12. (Delete-Use (DU))

Definition 13. (Produce-Forbid (PF))

Definition 14. (Delete-Forbid (DF))

Definition 15. (Độc lập song song)

Definition 16. (Phụ thuộc tuần tự)

Definition 17. (Độc lập tuần tự giữa hai cặp chuyển đổi trực tiếp)

Thuật toán 4.1 Tìm kiếm chuỗi luật tiềm năng có khả năng áp dụng

Đầu vào: $TR = (tr_1^F, tr_2^F, \dots, tr_n^F)$ tập các luật chuyển tiến
 $t (t > 2)$ biến số nguyên chỉ định chiều dài chuỗi luật
 SI tập các chuỗi luật thỏa mãn bao phủ $(t - 1)$, mỗi chuỗi luật $si \in SI$ bao gồm $(t - 1)$ luật có thứ tự.

PI : một tập các cặp luật độc lập song song

SD : tập các cặp luật phụ thuộc tuần tự

Đầu ra : SO : tập chuỗi áp dụng luật tiềm năng có khả năng áp dụng, mỗi chuỗi luật bao gồm t luật có thứ tự

```

1 Khởi tạo:  $SO = \emptyset$  ;
2 while  $SI \neq \emptyset$  do
3      $si \leftarrow$  lấy ra một  $si$  từ  $SI$ ;
4     foreach cặp phụ thuộc tuần tự  $sd = (tr_i^F, tr_j^F) \in SD$  do
5         if  $tr_i^F \in si$  and  $NAC_{tr_i^F} = \emptyset$  then
6              $so \leftarrow$  tạo một chuỗi luật mới  $so$ ,
7              $so = si.add(tr_j^F)$ 
8              $SO = SO \cup \{so\}$ 
9         end if
10    end foreach
11 end while
12 foreach rule sequence  $so \in SO$  do
13     if  $so.including(tr_i^F - tr_{i+1}^F)$  and  $(tr_i^F, tr_{i+1}^F) \in PI$  then
14          $s \leftarrow$  tạo một chuỗi luật mới  $s$ ,
15          $s = so.replace(tr_i^F - tr_{i+1}^F, tr_{i+1}^F - tr_i^F)$   $SO = SO \cup \{s\}$ 
16     end if
17 end foreach

```

4.3 Sinh mô hình kiểm thử dựa trên quan hệ phụ thuộc luật

4.4 Cấu trúc hàm phán xét kiểm thử kiểm dựa trên phân tích tập luật

Kiểm tra tính đúng đắn về ngữ pháp và tính đầy đủ.

Kiểm tra tính bảo toàn thông tin.

Kiểm tra tính hội tụ và tính kết thúc.

Kiểm tra tính bảo toàn hành vi.

4.5 Các nghiên cứu liên quan

Đề xuất của luận án về việc phân tích tập luật chuyển cho mục đích kiểm thử chuyển liên quan tới một số hướng nghiên cứu chính như: phân tích quan hệ giữa các luật chuyển, kiểm thử chuyển đổi mô hình dựa trên đặc tả TGG.

4.6 Tổng kết chương

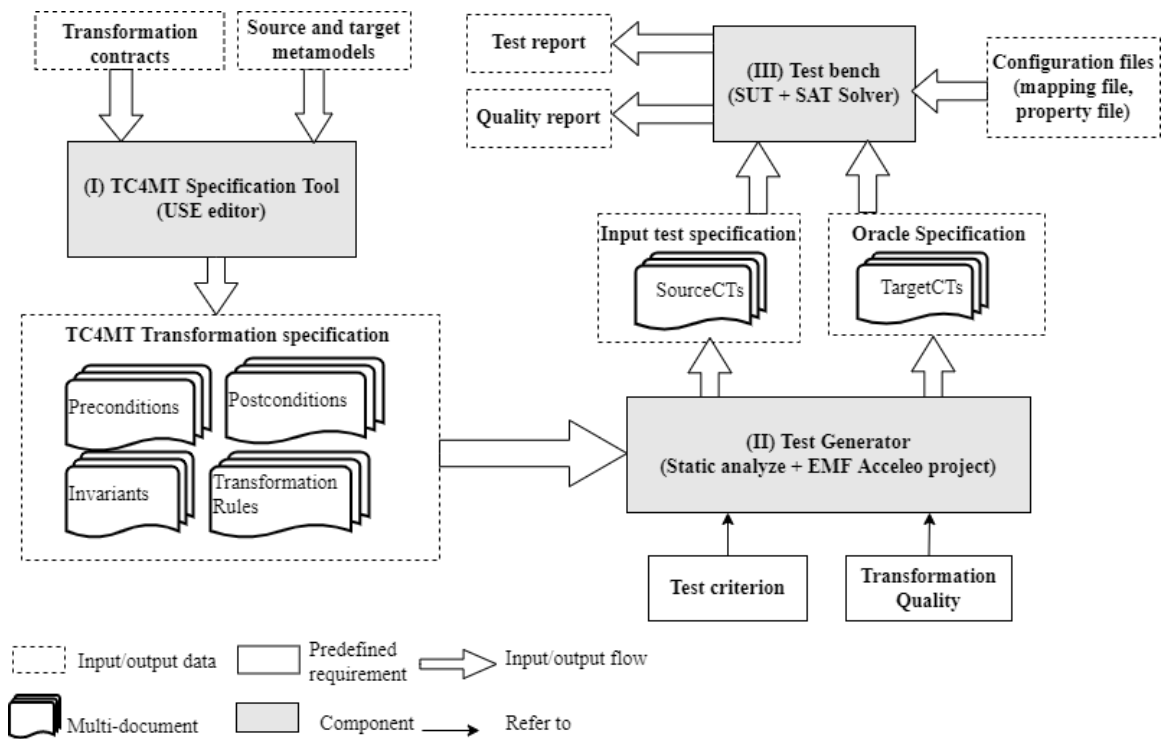
Phân tích đặc tả luật TGGs là một cách tiếp cận đầy hứa hẹn cho việc sinh các trường hợp kiểm thử chuyển đổi mô hình.

Chương 5

Thực nghiệm và đánh giá thực nghiệm

5.1 Giới thiệu

5.2 Công cụ hỗ trợ



Hình 5.1: Các thành phần của khung công việc TC4MT

Bảng 5.1: Kích thước các ví dụ chuyển

Cấu hình cài đặt chuyển	PRE (-)	POST (-)	INV (-)	Rule (RTL)	Rule+helper (ATL)
CD2RDBM	5	3	2	7	7
BibTeX2DocBook	4	3	2	6	6
Families2Person	2	2	0	4	5
BPMN2PetriNet	2	2	0	12	12

5.3 Kết quả thực nghiệm

Tính hợp lý của các bộ thử nghiệm đã tạo

Các tiêu chí bao phủ kiểm thử dựa trên phân tích tập luật đạt tới mức độ bao phủ cao.

Phân tích đột biến và tính đầy đủ

Bảng 5.2: Số lượng đột biến của hai ví dụ chuyển

Số đột biến	Navigation	Filtering & Modification	Creation	Tổng số đột biến
CD2RDBM_RTL	9	28	21	58
CD2RDBM_ATL	9	32	21	62
BibTeX2DocBook_RTL	6	12	7	25
BibTeX2DocBook_ATL	6	12	7	25
Families2Person_RTL	12	16	4	32
Families2Person_ATL	12	20	4	36
BPMN2PetriNet_RTL	13	36	20	69
BPMN2PetriNet_ATL	13	32	24	69

Bảng 5.3: Kết quả phân tích điểm đột biến cho tập mô hình kiểm thử kiểm tra các tính chất tùy chỉnh

	Tổng số đột biến	allNP (%)	2-way (%)	allR(%)	allP (%)	allC (%)	allI (%)
CD2RDBM_RTL	58	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
BibTeX2DocBook_RTL	25	0.84	0.84	0.72	0.80	0.80	0.72
Families2Person_RTL	32	0.81	0.81	0.75	0.75	0.75	0.75
BPMN2PetriNet_RTL	69	0.62	0.62	0.65	0.70	0.70	0.65

Bảng 5.4: Kết quả phân tích điểm đột biến cho tập mô hình kiểm thử kiểm tra các tính chất chung

	Tổng số đột biến	allNP (%)	2-way (%)	allR(%)	allP (%)	allC (%)	allI (%)
CD2RDBM_RTL	58	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
BibTeX2DocBook_RTL	25	0.84	0.84	0.72	0.80	0.80	0.72
Families2Person_RTL	32	0.81	0.81	0.75	0.75	0.75	0.75
BPMN2PetriNet_RTL	69	0.62	0.62	0.65	0.70	0.70	0.65

5.4 Tổng kết chương

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Các đóng góp của luận án

Các đóng góp chính của luận án được tóm tắt như sau;

1. Đề xuất một ngôn ngữ đặc tả chuyển đổi mô hình
2. Phát triển kỹ thuật và công cụ hỗ trợ sinh tự động các mô hình đích và nguồn dựa vào đặc tả
3. Đề xuất phương pháp phân tích đặc tả hình thức của chuyển đổi mô hình, một cách độc lập với ngôn ngữ cài đặt.
4. Luận án đề xuất sử dụng phương pháp phân tích đột biến để đánh giá chất lượng bộ ca kiểm thử được sinh theo các khía cạnh về tính khả dụng và về tính hiệu quả trong việc phát hiện sai sót.

Hướng phát triển

Trong mục này, luận án thảo luận về một số hạn chế và những đề xuất cải tiến nghiên cứu mở rộng trong tương lai được xem xét.

Mở rộng đặc tả TC4MT.

Phát triển chuyển hướng đặc tả.

Kiểm tra tính chất bảo toàn hành vi động.

Cải tiến khả năng tự động hóa của framework.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN TỚI LUẬN ÁN

1. [Hanh1] **Thi-Hanh Nguyen**, and Duc-Hanh Dang (2018). *An approach for testing model transformations*. In Proc. of the 10th International Conference on Knowledge and Systems Engineering, IEEE Xplore pp.264-269. ([DBLP](#))
2. [Hanh2] **Thi-Hanh Nguyen**, Duc-Hanh Dang, and Quang-Trung Nguyen (2019). *On Analyzing Rule-Dependencies to Generate Test Cases for Model Transformations*. In Proc. of the 11th International Conference on Knowledge and Systems Engineering, IEEE Xplore pp.1-6([DBLP](#))
3. [Hanh3] **Thi-Hanh nguyen**, Duc-Hanh Dang (2021). *A Graph Analysis Based Approach for Specification-Driven Testing of Model Transformations*, 2021 8th NAFOSTED Conference on Information and Computer Science (NICS), IEEE Xplore pp.224-230.
4. [Hanh4] **Thi-Hanh nguyen**, Duc-Hanh Dang (2021). *Combine meta-model partitioning and specification analysis for testing model transformations*, (Báo cáo kỹ thuật này dự kiến được gửi vào tạp chí trong nước JCSCE).