

БАГАТОРІВНЕВИЙ ПІДХІД ДО ПРОЕКТУВАННЯ УПРАВЛЯЮЧИХ ВБУДОВАНИХ СИСТЕМ

Вступ. В останні роки вбудовані системи розвиваються надзвичайно швидкими темпами. Наведемо лише кілька галузей промисловості, де вбудовані системи становлять надзвичайно важливий компонент продукції: автомобіле- та літакобудування, виробництво побутової та виміральної техніки, системи зв'язку. Підраховано, що до 30% вартості сучасного автомобіля припадає на його систему управління, вбудовану електроніку, а для літаків цей відсоток вищий. Тому розроблення засобів автоматизованого проектування вбудованих систем управління є актуальною проблемою.

Постановка проблеми і аналіз існуючих підходів до її розв'язання. В сучасних умовах проектування вбудованих систем для зазначених та багатьох інших сфер застосування набуває нових суттєвих особливостей, серед яких насамперед варто назвати такі:

- змінність в процесі проектування вимог до системи, їх складність і часто суперечливий характер;
- зростання жорсткості вимог;
- постійне скорочення термінів розробки систем;
- стрімкий розвиток елементної бази, програмних засобів, архітектурних та функціональних концепцій тощо.

Враховуючи, що традиційні вимоги до надійності та економічності також стають жорсткішими, потреба працювати в реальному масштабі часу стає все більш нагальною, особливо в медичній електроніці, авіаційних та космічних системах, ми повинні констатувати, що виникла необхідність створення ефективних систем автоматизованого проектування вбудованих систем. Адже дотепер основним фактором, що обумовлював успішність проекту, були традиційні інструментальні засоби, ефективні за умови поєднання вміння і досвіду проектувальника.

Створення ефективної системи автоматизованого проектування вбудованих систем становить складну проблему. В цілому наукові та інженерні колективи, що працюють над її розв'язанням, виділяючи вбудовані системи для управління та обробки даних, не йдуть шляхом створення спеціалізованих систем автоматизованого проектування вбудованих систем відповідних класів. Останні публікації на цю тему пов'язані з двома найважливішими міжнародними проектами зі створення систем автоматизованого проектування вбудованих систем, а саме Ptolemy [1] та POLIS [2]. Особливостями проекту POLIS є використання мов, що базуються на теорії паралельних автоматів, для специфікації системи та

ручна реалізація відображень між різними рівнями специфікації вбудованої системи, розвинені засоби оцінки проекту та моделювання системи. Проект Ptolemy базується на використанні графів потоків даних як формального засобу специфікації системи. Верифікація системи проводиться на основі моделювання. Розбиття на апаратну і програмну частини здійснюється напівавтоматично на основі профілювання. Недоліки зазначених підходів полягають в тому, що, по-перше, відображення на стадії переходу до апаратно-програмної архітектури реалізується значною мірою ручним способом, по-друге, відсутня єдина стандартизована мова (комплекс мов) специфікації системи, враховуючи всі її рівні абстракції, що давало б змогу здійснювати верифікацію проекту та використовувати автоматизовані засоби реалізації відображень.

В статті розглядається уніфікований багаторівневий підхід до проектування управляючих вбудованих систем. Основою такого підходу є уявлення про перехід від специфікації того, що повинна робити вбудована система, до детального, на рівні реалізації, опису того, як вона це робить. Зрозуміло, що складність сформованої проблеми може зумовити її нерозв’язуваність, якщо традиційні методи реалізації проектних робіт не поступляться новим, що базуються на сучасних концепціях, які довели свою ефективність:

- повторного використання програмно-апаратних компонентів;
- об’єктно-орієнтованих аналізу і проектування;
- інтелектуалізації.

Особливістю запропонованого підходу є інтегрований комплекс мов описання системи на всіх рівнях її абстракції, автоматизація підтримки вбудованих систем на всіх етапах їх життєвого циклу, якнайширше застосування автоматичних методів реалізації відображень на основі методів математичного програмування та штучного інтелекту.

Загальна характеристика підходу. Процес проектування розглядається як послідовно-ітеративний процес міжрівневого відображення специфікацій, розпочинаючи з найбільш загальної в описовому вигляді специфікації і завершуючи детальною специфікацією, придатною для виробництва вбудованої системи. Процес проектування подається за допомогою формальних засобів таким чином, щоб як верифікація, так і відображення з початкового рівня описання проекту на різні проміжні рівні могли виконуватися певними засобами, з певною точністю і за гарантований час.

Формальна модель проекту включає наступні традиційні для вбудованих систем компоненти [3]:

- **Функціональна специфікація** (подається у вигляді набору явних або неявних відношень між входами і виходами системи та, можливо, внутрішніми станами).
- **Набір властивостей**, які проект повинен мати (подається у вигляді набору відношень між входами, виходами і станами). Наявність

властивостей (справедливість відношень) можна перевірити на основі функціональної специфікації.

- **Набір показників якості проекту** з точки зору вартості, надійності, продуктивності, розмірів тощо (подається у вигляді набору відношень, що включають, серед іншого, входи та виходи).
- **Набір обмежень** на показники якості (подається у вигляді набору нерівностей).

У процесі проектування модель проекту кожного рівня абстракції відображується на модель проекту наступного (нижчого) рівня абстракції. При цьому розробник повинен переконатися, що проект на нижчому рівні абстракції володіє усіма необхідними властивостями, усіх обмежень дотримано, а показники якості задовільні. Отже, процес проектування, здійснюваний шляхом уточнення проекту, повинен включати також відповідне уточнення показників якості і обмежень на кожному наступному рівні, а також надавати автоматичні засоби їх перевірки в термінах кожного рівня.

Проблематика реалізації багаторівневого підходу. Проект (на всіх рівнях абстракції від функціональної специфікації до кінцевої реалізації) загалом подається у вигляді набору компонентів (це можуть бути процеси, структурні компоненти, автомати тощо), які можуть розглядатися як ізольовані неподільні блоки, що взаємодіють між собою та із зовнішнім оточенням, що не є частиною проекту. Модель обчислень та, відповідно, мова, що реалізує її, визначають поведінку та взаємодію цих блоків. Пропонований набір рівнів та мов, що використовуються для описання моделі проекту на кожному з рівнів, наведено на рисунку. Для реалізації кожного з рівнів абстракції необхідно розв'язати кілька проблем, насамперед: специфікації системи, перевірки правильності (верифікація) та синтезу. Для специфікації вбудованих систем на різних рівнях абстракції існує багато мов. Але серед цього різноманіття бракує єдиної стандартизованої мови (інтегрованого комплексу мов). Звичайно, кожна мова і модель обчислень, що є формальною її основою, мають свої вади і переваги. Створення мови (інтегрованого комплексу мов), що увібрала б в себе важливі особливості існуючих мов і моделей обчислень, або давала можливість створення змішаних моделей, дало б змогу, поперше, використовувати переваги кількох мов або моделей обчислень, а, по-друге, створило б передумови для стандартизації у цій галузі. Автори пропонують такий комплекс мов, в якому в якості уніфікованої мови опису системи на рівні функціональної специфікації використовується розширення UML (Unified Modelling Language) для вбудованих систем.

Дуже важливим наслідком вибору певної мови для специфікації системи є можливість автоматичного синтезу та формальної верифікації системи за якомога меншої участі людини-проектувальника, що могло б гарантувати відповідність специфікації синтезованого рівня специфікації вищого рівня, з якого здійснювалось відображення.

Верифікація гетерогенної системи також породжує багато проблем. Не

всі системи можна формально верифікувати за розумний час. Таким чином, для таких систем єдиним способом верифікації є моделювання. Але наявність як програмних, так і апаратних компонентів у системі не робить цей процес простішим. Більш перспективним, на думку авторів, є підхід, який би поєднував моделювання і формальну верифікацію.

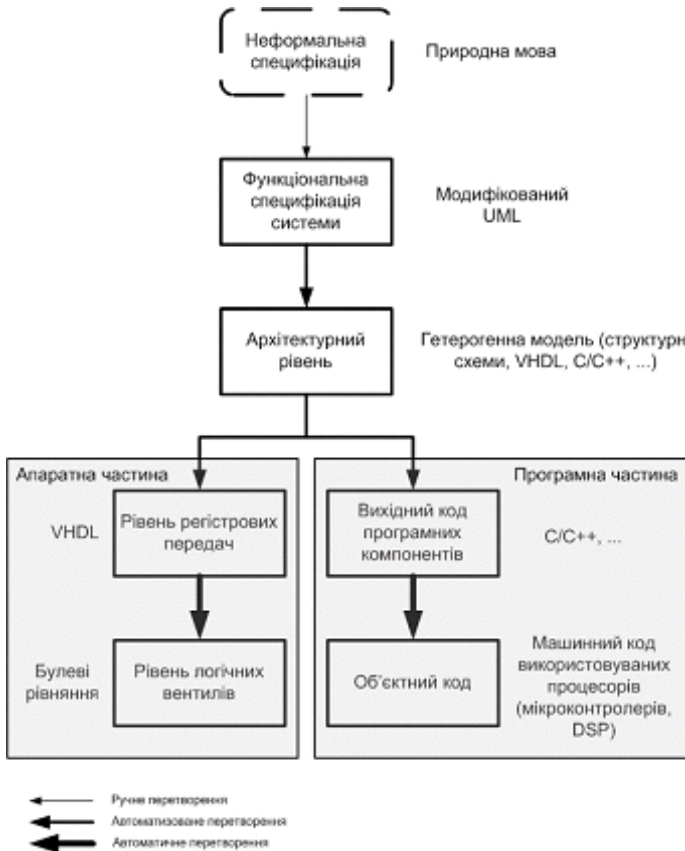


Рис. 1 – Багаторівневе описання вбудованих систем в процесі проектування

Формальна верифікація – це спосіб побудови системи логічного виведення тверджень про певні властивості деякої специфікації, записаної у відповідності до визначених формальних правил [4]. Щоб виконати таку верифікацію необхідні:

- деякий набір правил побудови логічного опису функціонування системи (формул) і набір семантичних правил, що визначають семан-

тику кожної формули;

- набір правил побудови логічного опису властивостей системи, що повинні перевірятися в процесі верифікації;
- алгоритми перевірки властивостей.

Інакше кажучи, в основі всіх алгоритмів формальної верифікації лежать алгоритми аналізу логічних умов, в термінах яких описано умови коректності.

На рівні функціональної специфікації системи автори пропонують розширити UML можливістю виконання специфікації, тобто можливістю моделювання і профілювання на високому рівні абстракції. На нижчих рівнях проєкт, або його частини, крім верифікації шляхом моделювання, повинні верифікуватися формально. На даний час розроблені методи формальної верифікації в основному для апаратної частини, які ґрунтуються на поданні системи у вигляді системи булевих рівнянь або у вигляді автоматів [3].

Для вбудованих систем синтез є комбінацією ручного і автоматичного процесів (автоматизований процес). Синтез складається з чотирьох взаємопов'язаних етапів: відображення на архітектуру, розбиття (частини специфікації верхнього рівня відображаються на компоненти архітектури), синтез програмної та апаратної частин та синтез комунікацій та протоколів зв'язку. Цільова функція, яка підлягає мінімізації в процесі синтезу, включає поєднання різних компонентів (час, площа, вартість, енергоспоживання тощо), де питома вага кожного окремого компонента суттєво залежить від призначення системи.

Синтез системи становить складну багатокритеріальну задачу вибору. Тому наявні методи синтезу здебільшого базуються на використанні апарату математичного програмування [3]. Через складність проблеми використовуються також евристичні методи, методи кластеризації та методи послідовного наближення. Часто також використовуються профілювання і синтез на його основі з подальшою перевіркою (верифікацією) системи на наявність певних властивостей. Існуючі методи накладають значні обмеження на архітектуру через складність процесу синтезу [5, 6, 7].

Автори пропонують комбінований підхід, в якому, враховуючи складність автоматичного синтезу та обмеженість існуючих методів синтезу, використовуються експертні системи у поєднанні з автоматичними методами реалізації відображень.

Коротка характеристика рівнів. На верхньому рівні наводиться неформальний опис проєкту, в якому визначаються найзагальніші характеристики проєкту. Активну участь у специфікації на цьому рівні бере замовник. На другому рівні створюється функціональна специфікація на розширеному UML.

Третій рівень – рівень архітектури. Опис архітектури на цьому рівні становить собою гетерогенну модель, що поєднує різні мовні моделі, які можуть використовуватися для різних частин проєкту. Наприклад, одні

компоненти можуть описуватися на мовах опису апаратного забезпечення типу VHDL (Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language), а інші – на мовах програмування високого рівня. При відображенні з цього рівня здійснюється розбиття проекту на апаратну і програмну частини і синтез відповідних апаратних і програмних засобів.

Після цієї стадії процес проектування здебільшого реалізується з використанням наявних програмних засобів, котрі виконують подальші перетворення майже автоматично без значного втручання проектувальника в процес. Наприклад, сучасні засоби автоматизованого проектування програмованих логічних інтегральних схем дозволяють за описом моделі на мові проектування апаратного забезпечення згенерувати файл опису структури інтегральної схеми, котрий може безпосередньо використовуватися для отримання готового виробу. Аналогічно, наявні компілятори генерують код, придатний для виконання на цільовому процесорі.

Висновки. Процес проектування вбудованої системи має бути послідовно-ітеративним (можливе повернення на попередній рівень у разі невиконання певних умов, наприклад незадовільні показники якості, відсутні певні властивості) через необхідність розбиття надскладної проблеми на підпроблеми. Це зумовлює використання засобів контролю результатів розв’язання підпроблем з можливістю повторення певних стадій проектування.

Запропонований багаторівневий підхід забезпечує єдиний стандартизований підхід до проектування вбудованих систем і полягає в поданні процесу проектування як послідовного переходу від вищих, більш абстрактних, рівнів специфікації системи до більш детальних. На кінцевому етапі процесу проектування отримуємо специфікацію системи, придатну для організації виробництва. Стандартизацію можуть забезпечити засоби розв’язання основних проблем, що виникають на всіх стадіях проектування: специфікація, верифікація і синтез.

Для опису на рівні функціональної специфікації системи запропоновано в якості мови використовувати розширення UML для вбудованих систем з можливістю моделювання і перевірки. При відображенні специфікації з рівня на рівень широко використовуються експертні системи, що дозволяє досягти ефективнішого реалізації відображень. В якості засобів верифікації пропонують використовувати як формальну верифікацію, так і моделювання. Створення засобів автоматизованого проектування, що реалізують багаторівневий підхід і базуються на всебічному використанні вже розроблених компонентів, методів об’єктно-орієнтованого аналізу і проектування та експертних систем, дозволить прискорити розробку вбудованих систем та підвищить надійність та ефективність проектних рішень.

Література

1. J. Davis II, M. Goel, J. Janneck et al. Overview of the Ptolemy Project // ERL Tech. Report UCB/ERL No. M99/37, Dept. of EECS, UC Berkeley,

July 1999, 23 p.

2. POLIS. A design environment for control-dominated embedded systems // UC Berkeley, November 1999, 124 p.
3. S. Edwards, L. Lavagno, E. A. Lee, A. Sangiovanni-Vincentelli. Design of Embedded Systems: Formal Models, Validation, and Synthesis // Proc. of the IEEE, Vol. 85, No. 3, March 1997, P. 366 – 390.
4. С.Френкель. Функционально-временная верификация сложных цифровых систем // Открытые системы.- №6.- 2002.- С.4-10.
5. J.K. Adams, H. Schmitt, D.E. Thomas. A model and methodology for hardware-software codesign // Proc. of the Int. Workshop on Hardware-Software Codesign, Oct. 1993. P. 123 –128.
6. U. Steinhausen, R. Camposano, H Gunther et al. System-synthesis using hardware/software codesign // Proc. of the Int. Workshop on Hardware-Software Codesign, Oct. 1993.- P. 129 – 139.
7. M. Chiodo, P. Giusto, H. Hsieh et al. Hardware/software codesign of embedded systems // IEEE Micro, vol. 14, no. 4, Aug. 1994. P 26 – 36.

Получено: 07.12.2002