

УДК 004.42

ПРЕДМЕТНО-ОРІЄНТОВАНЕ ПРОГРАМУВАННЯ: ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ, ПЕРЕВАГИ ТА ОБМЕЖЕННЯ

Філь Н.Ю.¹, Борисов Д.С.¹, Бархан Балнур²

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

²Алматинський технологічний університет, Алмати, Казахстан

У сучасних умовах розвитку інформаційних технологій спостерігається тенденція до спеціалізації інструментів програмування. Одним із ключових напрямів цієї спеціалізації є предметно-орієнтоване програмування (Domain-Specific Programming), яке ґрунтується на створенні програмних засобів для розв'язання завдань у чітко визначених предметних галузях [1].

При виборі інструментів для вирішення будь-якого завдання перед розробниками постає два варіанти: використовувати універсальний засіб або застосувати спеціалізовані засоби та інструменти. Загальні підходи та універсальні інструменти розраховані на вирішення численних типових завдань, і тому, як правило, вони не є оптимальними у випадку, якщо завдання, що стоїть перед розробниками, є нестандартним і має багато унікальних особливостей.

Предметно-орієнтоване програмування передбачає розроблення програмного забезпечення засобами предметно-орієнтованих мов програмування (Domain-Specific Languages, DSL), що характеризуються спеціалізованим синтаксисом та семантикою, оптимізованими для конкретної сфери застосування [2].

На відміну від мов загального призначення (таких як C++, Python або Java), DSL-мови не мають універсального характеру, а розробляються для вирішення вузького кола завдань. Основним принципом цього підходу є фокусування на одній предметній області, що забезпечує максимальну ефективність розв'язання поставлених задач у межах конкретного домену [3].

З такими мовами ми зустрічаємося практично щодня: SQL, shell-скрипти, мови опису користувацького інтерфейсу – це все приклади предметно-орієнтованих мов, оскільки вони створювалися для вирішення певних завдань у деякій конкретній предметній області [1].

Створення спеціалізованих мов стало загальновизнаним потужним методом абстракції. Цей підхід дозволив відображати рішення задач у термінах предметної області, фіксувати в мові знання про область способом, який допускає повторне використання, валідацію та оптимізацію на більш високому рівні, спрощує використання мови людьми, які не є фахівцями в галузі інформатики та обчислювальної техніки.

Ще однією помітною областю є застосування DSL для вирішення завдань програмування великого масштабу. В області розробки програмного забезпечення на основі моделей отримали розвиток DSL з графічною нотацією, прийоми трансформації коду, а також DSL опису елементів програмної архітектури. Відносно новий напрямок архітектури програмного забезпечення починає набувати формальної основи, в тому числі та завдяки застосуванню DSL. Нарешті, динамічні мови породили нову хвилю інтересу до мов програмування в цілому і до DSL зокрема. На відміну від 1990-х рр., коли поширених мов загального призначення було менше п'яти, на даний момент широко використовуються близько десяти мов, а сучасні проєкти все частіше ведуться з використанням цілого набору мов, що використовуються для ефективного вирішення завдань у предметних областях проєкту.

У практиці розроблення виділяють низку напрямів застосування DSL-мов, кожен із яких відповідає певній предметній галузі (таблиця 1).

До предметно-орієнтованих мов також належать внутрішні скриптові мови великих корпоративних систем, наприклад ABAP у середовищі SAP [4].

Підходи до створення DSL продовжують застосовуватися в нових предметних областях. Однією з найбільш помітних є область веб-програмування та мови на основі XML, розширюваної мови розмітки тексту. За останні десять років було створено велику кількість таких мов для

розмітки та обробки тексту, математичних формул, зберігання та обміну даними між додатками.

Таблиця 1. Приклади застосування предметно-орієнтованих мов програмування

№	Галузь застосування	Мова програмування	Призначення
1	Десктопне верстання	TeX, LaTeX	Підготовка наукових і технічних текстів
2	Обробка текстів	Perl	Маніпулювання текстовими даними
3	Проектування апаратного забезпечення	Verilog, VHDL	Опис цифрових схем
4	Символьні обчислення	Mathematica, Maple	Аналітичні обчислення
5	Комп'ютерне моделювання	AutoLisp	Автоматизація моделювання
6	Логічне програмування	Prolog	Реалізація обчислень предикатів
7	Керування операційними системами	JCL	Автоматизація командних процедур
8	Структурування даних	XML	Обмін ієрархічними даними
9	Моделювання систем	UML, GPSS	Побудова моделей та макетів систем

Використання DSL-мов має низку переваг. Висока ефективність у межах конкретної галузі завдяки адаптованому синтаксису та семантиці [5]. Зменшення складності програмування у порівнянні з універсальними мовами, що позитивно впливає на швидкість розробки. Невисока

конкуренція серед фахівців, що обумовлює підвищений попит і рівень заробітної плати. Можливість глибокої професійної спеціалізації, орієнтованої на конкретну індустрію або предметну галузь.

Попри зазначені переваги, предметно-орієнтоване програмування має і низку недоліків. Вузька сфера застосування обмежує мобільність фахівців і ускладнює перехід у суміжні галузі програмування [6]. Низька поширеність окремих DSL-мов зумовлює відсутність активних спільнот і труднощі з отриманням технічної підтримки. Обмежені навчальні ресурси, через що розробники часто змушені працювати лише з офіційною документацією. Ризик застарівання мови, оскільки багато DSL створюються для конкретних корпоративних або дослідницьких проєктів.

Предметно-орієнтоване програмування є важливою складовою сучасної індустрії програмування, що дозволяє підвищити ефективність розробки в окремих спеціалізованих сферах. DSL-мови стають потужним інструментом для автоматизації, моделювання та формалізації предметних знань. Водночас, вузькість їхнього застосування потребує від фахівців чіткої орієнтації на обрану галузь і постійного оновлення професійних компетенцій.

Література:

1. Fowler M. Domain-Specific Languages. Addison-Wesley, 2010.
2. Spinellis D. Notable Design Patterns for Domain-Specific Languages. Journal of Systems and Software, 2013.
3. Mernik M., Heering J., Sloane A. M. When and How to Develop Domain-Specific Languages. ACM Computing Surveys, 2005.
4. SAP SE. ABAP Programming Model for SAP Fiori. SAP Press, 2018.
5. Deursen A. van, Klint P. Domain-Specific Language Design Requires Feature Descriptions. Journal of Computing and Information Technology, 1998.
6. Kosar T., Mernik M., Carver J. C. Program Comprehension of Domain-Specific and General-Purpose Languages: Comparison Using a Family of Experiments. Empirical Software Engineering, 2016.

УДК 004.78

КРИТЕРІЇ ВИБОРУ ПРОТОКОЛІВ ДЛЯ БЕЗДРОТОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Філь Н.Ю., Веприцький К.А.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Інтернет речей (IoT) – це масштабні промислові рішення з жорсткими вимогами до протоколів, енергоспоживання та топології мереж. Згідно з оцінками Fortune Business Insights, глобальний ринок IoT зросте до 1,102 \$ трлн у 2026 році. Приблизно половина виручки припадає на таких гігантів в IoT, як Microsoft, Cisco, IBM, Bosch Software Innovations і Oracle [1].

Вибір протоколу для промислового IoT-рішення багато в чому залежить від його сфери застосування. В промисловості IoT застосовується для автоматизації виробничих процесів, залізничних станцій, транспортних терміналів. Потрібні більш серйозні вимоги до безпеки промислових «розумних» систем, ніж споживчих. Збільшується кількість підключених пристроїв, яка може досягати декількох тисяч. Гарантована доставка даних стає обов'язковою, а для бездротових технологій це досить складне завдання. Перешкода на каналі вимагає пошуку рішення. Промислові системи повинні мати значний радіус дії.

Відомо, що 20-30% інженерних зусиль витрачаються на підтримку існуючих рішень. Таким чином, залишається менше ресурсів на розробку інновацій та розвиток бізнесу. Потрібно знайти спосіб зменшити обсяг ресурсів, необхідний для підтримки прийняття рішень щодо вибору протоколів для бездротової технології для промислового інтернету речей.

Розглянемо критерії вибору протоколів для бездротової технології для промислового інтернету речей (IIoT, Industrial Internet of Things) залежать від конкретних вимог виробничої системи, умов середовища, типу даних та вимог до надійності [2-3].

Перший критерій – дальність передачі сигналу. Розрізняють локальні мережі (до 100 м), наприклад Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee; середні відстані (до кількох км): WirelessHART, 6LoWPAN; великі відстані (кілька км – десятки км): LoRaWAN, NB-IoT, LTE-M, 5G. Вибір залежить від площі підприємства і кількості вузлів у мережі [2-3].

Другий критерій – енергоспоживання. Для пристроїв на батареях (сенсори, лічильники) важливо мінімальне споживання енергії, наприклад LoRaWAN, Zigbee, Bluetooth Low Energy, NB-IoT. Для пристроїв із постійним живленням (контролери, шлюзи) можна використовувати більш енергоємні технології, наприклад Wi-Fi, 5G [2-3].

Третій критерій – затримка (latency) та швидкість передачі. Для систем реального часу або для критичних процесів потрібно <10 мс Б наприклад 5G URLLC, WirelessHART, Time-Sensitive Networking (TSN). Нерегулярні або малочастотні вимірювання: допустима затримка до секунд, наприклад LoRaWAN, NB-IoT. Висока пропускна здатність (відео, аналітика), наприклад Wi-Fi 6/7, 5G eMBB [2-3].

Четвертий критерій – надійність і безпека. Використовується шифрування, автентифікація, захист від втрати пакета.

Промислові стандарти безпеки: WPA3 (для Wi-Fi), AES-128/256 (для Zigbee, LoRaWAN), IPsec або TLS (для IP-протоколів). Для промислових цехів із великою кількістю металу або електромагнітних завад для підвищення стійкості до перешкод застосовується резервування каналів [2-3].

П'ятий критерій – масштабованість і топологія мережі. Для великої кількості сенсорів краще використовувати Mesh-мережі, наприклад Zigbee, WirelessHART. Для випадка коли багато вузлів на великій території використовуються стільникові технології, наприклад NB-IoT, LTE-M, 5G. Для випадка розподілених датчиків на великих площах використовується точка-багато точок, наприклад LoRaWAN [2-3].

Шостий критерій – вартість впровадження та обслуговування. Враховується вартість модулів, ліцензії на частоти, інфраструктура (базові

станції, шлюзи). LoRaWAN і Zigbee дешевші у впровадженні, ніж 5G або NB-IoT, але можуть мати нижчу продуктивність [2-3].

Сьомий критерій – стійкість до промислових умов. Так обладнання промислового інтернету речей при високій температурі, пилу, вібраціях. Необхідно враховувати наявність індустріальних модифікацій стандартів, наприклад, Industrial Wi-Fi, WirelessHART, ISA100.11a [2-3].

Восьмий критерій – сумісність і інтеграція з існуючими системами. Обрана технологія повинна підтримувати промислові протоколи, наприклад Modbus, OPC UA, MQTT, PROFINET тощо. Також необхідно враховувати можливість інтеграції з хмарними сервісами, наприклад AWS IoT, Azure IoT Hub [2-3].

Наявність різноманітних стандартів локального бездротового зв'язку робить ефективним впровадження технологій промислового інтернету речей для різних підприємств з унікальними параметрами та характеристиками, адже кожен випадок має власний набір труднощів для подолання. А врахування критеріїв при виборі протоколів для бездротової технології для промислового інтернету речей дозволить зробити правильний вибір і забезпечити економію в мільйони доларів.

Література:

1. Internet of Things (IoT) Market Size. [Он-лайн]. Доступно: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/internet-of-things-iot-market-100307>
2. Marcin Bajer. «IoT for Smart Buildings - Long Awaited Revolution or Lean Evolution». . FiCloud 2018 The IEEE 6th International Conference on Future Internet of Things and Cloud At: Barcelona, Spain, Spain August 2018.
3. Hamirahanim Abdul Rahmana, Jinsoo Park, Jihae Suh «Use of Software Agent Technology in Management Information System: A Literature Review and Classification» Asia Pacific Journal of Information Systems Vol. 29 No. 2019, pp. 65-82.