

В результаті досліджень програмної інженерії НМІ-розширень вбудованих систем на базі WiFi-платформ узагальнено вимоги, отримано проектну модель та фреймворк як більш досконалу форму реалізації GUI-бібліотеки. Цей фреймворк здатен забезпечити реалізацію усього вище зазначеного переліку вимог. Включення до складу вбудованої програми emAppHMI software компонент НМІ-imageIntegrater дозволяє проводити завантаження НМІ-образу динамічно як на моменті старту програми, так і у процесі її виконання. Надання ізоморфності віконного інтерфейсу дозволяє досягти більш повної адаптованості вбудованої системи до зміни умов функціонування. Така властивість має виняткову цінність для засобів критичної інфраструктури.

Література:

1. A. Yarmilko, "High-Speed SPI Bus Host Controller for Embedded Systems," 2022 IEEE 41st International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 662-666, doi: 10.1109/ELNANO54667. 2022.9927055: веб-сайт. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9927055> (дата звернення: 10.05.2023)
2. A. Yarmilko, D. Datsenko 'Increase of the dependability and adaptability of critical infrastructure' IIoT systems. Міжнародна конференція INUDECO: веб-сайт. URL: https://drive.google.com/drive/folders/1HLLS_R7kaD6anJ8nufYavN7rItSynf8?usp=sharing (дата звернення: 10.05.2023)

УДК 004.454

ДРАЙВЕРИ ЕКСПАНДЕРА SPI IIOT-СИСТЕМ

Ярмілко А. В., Олександренко М. П.

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Abstract. The proposed hardware and software drivers' structure is aimed at implementing IIoT systems on a WiFi module platform. The driver enables a more comprehensive utilization of the WiFi module computational power by expanding the SPI bus.

Часто у склад вбудованих систем інтегровано WiFi-модуль задля зручності комунікації на рівні WirelessLAN або віддаленого доступу через мережевий маршрутизатор. Використання сучасних WiFi-модулів виключно для інформаційного обміну «точка доступу – станція» не ефективно, постільки така задача потребує всього 10..15% від обчислювальної потужності. Надлишок, понад 80% ресурсу, може залучатись на вирішення задач роботи із твердотільними накопичувачами даних, забезпечення людино-машинної взаємодії та завдань утилітарного змісту (наприклад, управління 3D-друком). На практиці більш повне використання цього ресурсу ускладнено обмеженим

набором ліній вводу/виводу (GPIO). Саме ця обставина визначає актуальність відповідних досліджень та проведення проектних робіт. Метою розробки є синтез апаратно-програмних рішень задля отримання цільних або полірівневих IoT-систем за концептом [1]. В ході досліджень було досягнуто значного спрощення як апаратного, так і програмного драйверів, при одночасному збереженні можливості проведення потокових операцій в режимі DMA [2].

Як зазначалося, реалізація IoT-систем на платформі WiFi-модуля неможлива без використання апаратного драйвера розширення шини SPI, основним призначенням якого є комутація периферійних пристроїв. Електричну схему драйвера SPIExpander пропонується виконувати у формі окремо виділеного пристрою – материнської плати із SPI-шиною зв'язування основних функціональних компонент:

1. Дешифратор, який перетворює бінарний код адресної шини A2, A1 і A0 у лінійний. Забезпечує однозначність вибору периферійного пристрою.
2. Набір буферних елементів, який слугує комутатором сигналів SCK та MISO шини SPI для периферійних пристроїв, які або не мають каскаду вибірки кристалу CS, або мультирежимність (SPI/DPI/QPI) яких не гарантує формування стану високого імпедансу на лініях виводу.
3. Інвертор, який перетворює сигнал SCK із моди SPI0.0 у SPI1.0, що зумовлено фазою перенесення SDO за наростаючим фронтом CLK регістру зсуву. У режимі SPI0.0 дані можуть модифікуватись лише за негативним фронтом SCK.
4. Регістр зсуву 8-розрядного слова паралельного входу Dx у послідовний сигнал SDO, який забезпечує зчитування станів бортової клавіатури та сигналу /CdSD (Card SD Insert) карти пам'яті.
5. Регістр зсуву із послідовним входом SDI та 8-розрядним паралельним виходом, який забезпечує візуалізацію одиничних станів, наприклад, проведення файлових операцій SD-карти, SPIFlash накопичувача або DRAM буферизації пам'яті програм.

Принципи функціонування SPIExpander розкриває опис програмного драйвера MultySwitcher, який здійснює управління цим апаратним драйвером. Специфіка GPIO ліній WiFi-модулів, як і всіх пристроїв SoC та MCU, полягає в їх функціональній мультиплексності, тобто більшість ліній вводу/виводу можуть змінювати своє призначення на різних стадіях та режимах роботи, причому не лише програмно. Так, наприклад, лінії $io15=0$, $io0=1$ та $io2=1$ переводять контролер в режим завантаження коду з бортової SPIFlash – штатний пуск вбудованої програми, а при значеннях $io15=0$, $io0=0$ та $io2=1$ завантаження проводиться до бортової SPIFlash потоком з порту UART. До того ж, у модулі ESP12F лінія $io2$ апаратно підключена до бортового LED і може використовуватись програмним шляхом (activ.Low) для відображення стану перебігу системних процесів.

Програмний драйвер MultySwitcher розроблявся відповідно парадигми HAL, тобто абстраговано від hardware за виключенням макровизначень заголовного файлу бібліотеки драйвера. Апаратні системні ресурси, до яких

відноситься SPIExpander, як маршрутизатор асинхронних інформаційних потоків та даних, є сильно навантаженим і критичним ресурсом. Враховуючи, що виявлення колізій на шині та усунення їх наслідків є складною задачею, яка потребує значних затрат обчислювальної спроможності процесора, прийнято рішення використання методів RTOS задля запобігання нештатних ситуацій множинного доступу. Саме такий підхід став визначальним в отриманні програмної моделі драйвера MultySwitcher (рис. 1).

Звертання до драйвера SPIExpander таких процесів як виконання операції з енергонезалежними накопичувачами, записи/читання DRAM, відображення даних на LCD-дисплей та бінарних станів на VD-індикатори, зчитування стану фізичних кнопок – проходять асинхронно. Пріоритет процесів різний. Найвищий він у доступі до DRAM, нижчий – для операцій з SD-картами та SPIFlash накопичувачами. Найнижчим він є для операцій з LCD-дисплеєм, VD-індикаторами та клавіатурою. Спільна особливість роботи з енергонезалежними накопичувачами та LCD-дисплеєм полягає у необхідності забезпечення нерозривності операцій, тобто зняття сигналу /CS# автоматично завершує операційний цикл. Передчасне завершення циклу, в більшості випадків, порушує цілісність даних без можливості встановлення програмним шляхом результуючих наслідків. З цієї причини зняття сигналу вибірки io2=1 дешифратора та завершення задачі проводиться в тілі самої задачі.

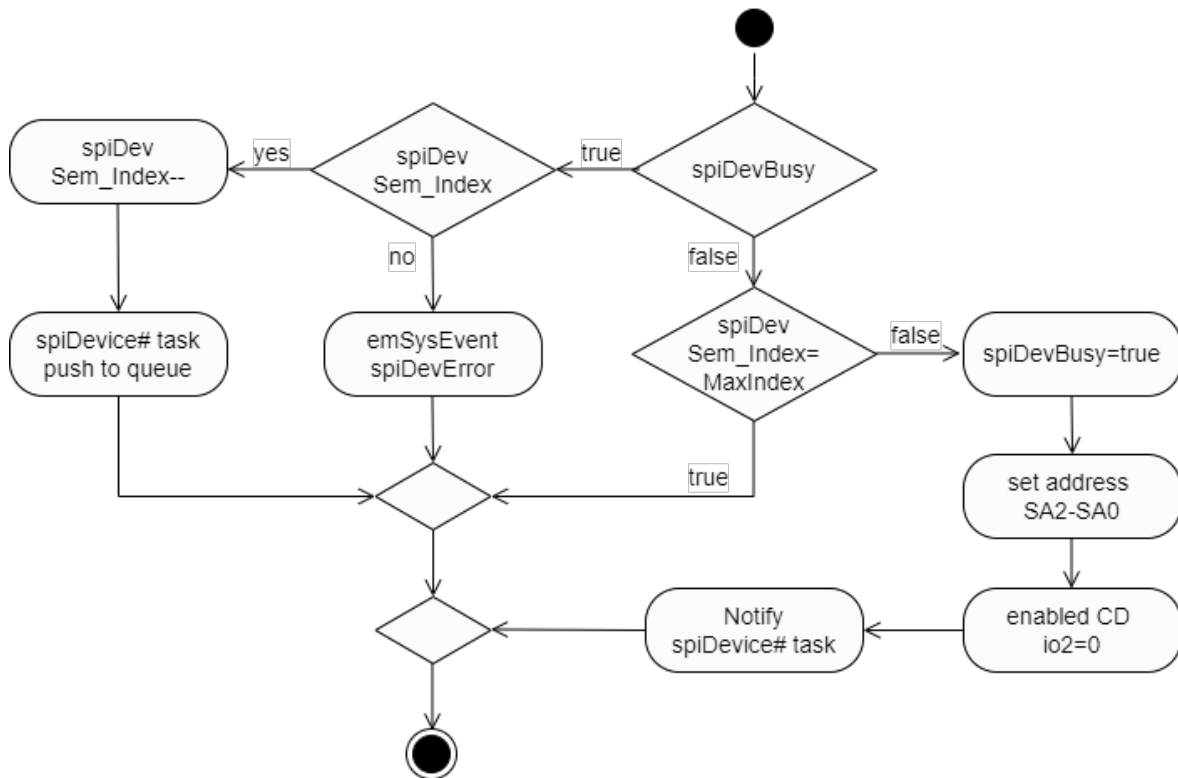


Рисунок 1 – Програмна модель драйвера MultySwitcher

Програмна модель драйвера MultySwitcher складається з трьох гілок: обслуговування черги задач доступу до периферійних пристроїв системи (ліва частина діаграми), холостий прохід (по центру діаграми) та надання доступу

поточні задачі черги або задачі, яка породила активацію драйвера, до відповідного апаратного ресурсу. Узагальнено алгоритм драйвера MultySwitcher можна розглядати як диспетчер задач, який призупиняє виконання задачі та керує чергою поновлення виконання задачі за механізмом Notify. Пріоритет задач визначає користувач засобами RTOS, тобто MultySwitcher як окрема задача – диспетчер доступу має більш низький пріоритет управління чергою, ніж ядро RTOS.

Практична цінність досліджень та розробки полягає у отриманні драйверів експандера шини SPI, які забезпечують розширення вбудованих пристроїв до рівня IoT-систем утилітарного призначення виключно на апаратній платформі WiFi-модулів. Як додатковий результат, на базі SPIExpander і MultySwitcher драйверів реалізовано програмний комплекс HTTP-FileLoader систем з комбінованою пам'яттю програм

Література:

1. A. Karmakar, N. Dey, T. Baral, M. Chowdhury. Industrial Internet of Things: A Review. Conference: 2019 International Conference on Opto-Electronics and Applied Optics. March – 2019. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/336439752_Industrial_Internet_of_Things_A_Review . Перевірено: 03.02.2023.
2. Yarmilko, "High-Speed SPI Bus Host Controller for Embedded Systems," 2022 IEEE 41st International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 662-666, doi: 10.1109/ELNANO54667.2022.9927055: веб-сайт. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9927055> (дата звернення: 10.05.2023)

Секція 3

Захист інформації та телекомунікаційні системи