

Architektura interfejsu szeregowego Thunderbolt

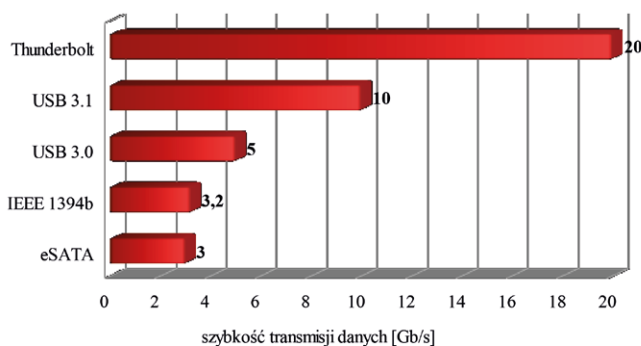
Michał Sawicki

1. Wprowadzenie

Obecnie większość interfejsów zewnętrznych w systemach komputerowych wykorzystuje transmisję szeregową. Początkowo dominował standard RS-232, którego rozwoju zaprzestano ze względu na trudności przystosowania go do nowych wymagań, jak np. możliwość podłączenia do komputera wielu urządzeń peryferyjnych, wymieniających z nim duże ilości danych. W tej sytuacji zaistniała potrzeba zdefiniowania nowych standardów, które zapewniałyby szybszy przesył danych i umożliwiały podłączenie wielu urządzeń do jednego komputera. Postawione wymagania spełniają standardy USB i IEEE 1394, a od 2009 roku Thunderbolt, który jest najnowszym standardem wśród interfejsów szeregowych i jest poważną konkurencją dla portów USB i IEEE 1394.

Interfejs Thunderbolt (o nazwie kodowej Light Peak) został zaprezentowany we wrześniu 2009 roku, a dystrybucja urządzeń wyposażonych w ten typ portu rozpoczęła się od lutego 2011. Standard Thunderbolt został opracowany przez firmę Intel we współpracy z producentem komputerów Mac firmą Apple. Standard definiuje przewody, wtyki i model komunikacyjny oraz wprowadza pojęcie meta-protokołu Thunderbolt (patrz p. 2).

Ciągle rozwijająca się technika komputerowa, w której coraz większe porcje danych muszą być przetwarzane, a co za tym idzie, transportowane, zmusza projektantów interfejsów do zwiększania szybkości transmisji, dlatego projektanci interfejsu Thunderbolt postawili sobie za cel „gwałtowne” przyspieszenie transmisji danych do 100 Gb/s (w przypadku transmisji światłowodem) i do 10 Gb/s (przewodem elektrycznym).



Rys. 1. Porównanie szybkości transmisji wybranych interfejsów szeregowych*

Fig. 1. Comparison of data rate for the selected serial interfaces

*Technologia Thunderbolt umożliwia transmisję danych z szybkością 10 Gb/s w każdym z dwóch kanałów transmisyjnych znajdujących się w jednym przewodzie. Na wykresie szybkość dla Thunderbolt jest sumą szybkości transmisji danych w jedną stronę dla obu kanałów. Agregację dwóch kanałów fizycznych w jeden logiczny wprowadzono w kolejnej wersji standardu Thunderbolt 2

Streszczenie: Jednym z najnowszych przedstawicieli interfejsów szeregowych jest port Thunderbolt, oparty na protokołach PCI Express i DisplayPort, umożliwiający transmisję danych z dużymi szybkościami. Niniejszy artykuł prezentuje architekturę interfejsu Thunderbolt, opisuje budowę modelu komunikacyjnego, przewodu oraz wyjaśnia pojęcie meta-protokołu Thunderbolt.

Słowa kluczowe: interfejs szeregowy, meta-protokół, Thunderbolt

NEW SERIAL INTERFACE THUNDERBOLT

Abstract: One of newer serial interface is Thunderbolt port, which is based on the PCI Express and DisplayPort protocol, and transmits data at high speed. This paper presents the architecture of Thunderbolt interface, describes structure of the communication model, cable and explains term meta-protocol Thunderbolt.

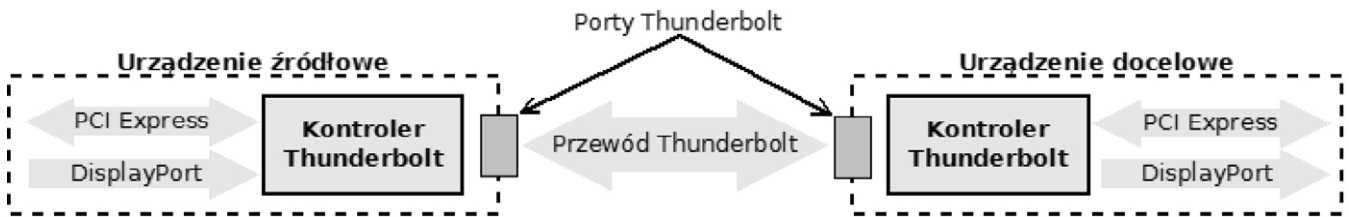
Keywords: serial interface, meta-protocol, thunderbolt

Obecnie w systemach komunikacyjnych widoczna jest tendencja do porzucania transmisji przewodem elektrycznym na rzecz światłowodów (transmisja optyczna), które zapewniają większe szybkości transmisji przy pełnej odporności na zakłócenia elektromagnetyczne. Z tego względu standard Thunderbolt definiuje dwa rodzaje przewodów: elektryczny i optyczny.

2. Meta-protokół Thunderbolt

Standard Thunderbolt wykorzystuje dwa protokoły: PCI Express (PCIe) i DisplayPort. Pierwszy z nich do transportu danych np. z dysku twardego, a drugi do przesyłu dźwięku i obrazu (A/V). Na magistrali Thunderbolt obowiązuje tzw. meta-protokół, odpowiedzialny za multipleksowanie (łączenie) „w locie” strumieni danych protokołów PCIe i A/V DisplayPort. W urządzeniu źródłowym (rys. 2) kontroler Thunderbolt, który implementuje meta-protokół, dokonuje multipleksowania dwóch strumieni w jeden strumień pakietów Thunderbolt przesyłanych do urządzenia docelowego. Na podstawie strumienia odebranych pakietów Thunderbolt w urządzeniu docelowym odtwarzane (demultipleksowane) są strumienie danych i A/V.

Kontroler Thunderbolt (np. Intel 82524EF) mieści się w jednym układzie, co ułatwia projektantom systemów komputerowych wzbogacanie swoich urządzeń o port Thunderbolt dodając tylko jeden układ scalony. Od strony hosta (urządzenia) kontroler wyposażony jest w interfejsy kompatybilne z urządzeniem (np. PCIe, DisplayPort, USB, IEEE 1394, Ethernet). Umożliwia to przystosowanie starszych urządzeń do pracy z portem Thunderbolt za pomocą tzw. adapterów Thunderbolt.



Rys. 2. Multipleksacja strumieni PCIe i DisplayPort w Thunderbolt
Fig. 2. Multiplexing of PCIe and DisplayPort streams in Thunderbolt

Dla systemu operacyjnego zainstalowanego w urządzeniach źródłowym i docelowym transmisja Thunderbolt jest transparentna, tzn. w systemie „widoczne” są tylko interfejsy PCIe i DisplayPort, a co za tym idzie, urządzenia wyposażone w porty PCIe i DisplayPort, a nie Thunderbolt. Z tego względu Thunderbolt wykorzystuje tylko niskopoziomowe sterowniki urządzeń PCIe i DisplayPort nie ingerując w pozostałe części (moduły) systemu operacyjnego. Dzięki temu programiści tworzący aplikacje wykorzystujące komunikację Thunderbolt nie muszą poznawać nowych sterowników i bibliotek programistycznych.

3. Model komunikacyjny Thunderbolt

Model komunikacyjny prezentuje powiązanie elementów sprzętowo-programowych w interfejsie urządzenia. Standard Thunderbolt definiuje trójwarstwowy model komunikacyjny (rys. 3), w którym niższa warstwa świadczy usługi warstwie wyższej – tzw. komunikacja pionowa.

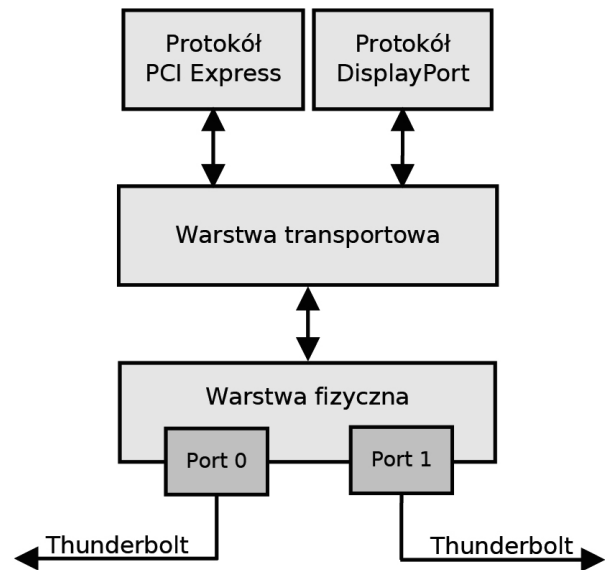
Najwyższą warstwą modelu komunikacyjnego Thunderbolt są stopy protokołów PCIe i DisplayPort, które przekazują strumień danych i A/V do warstwy niższej – transportowej.

Warstwa transportowa odpowiedzialna jest za enkapsulację pakietów danych i A/V w pakiety Thunderbolt i umożliwia multipleksowanie nieregularnego natężenia transakcji PCIe i izochronicznej komunikacji DisplayPort w jeden strumień pakietów Thunderbolt. Jest to niewątpliwie dużą zaletą tego standardu, gdyż umożliwia transmisję informacji różnego typu (dane i A/V) za pomocą tylko jednego przewodu i jednej pary układów interfejsowych.

Warstwa fizyczna wykonuje kodowanie, transmisję i odbiór danych do/z magistrali Thunderbolt oraz jest odpowiedzialna za wykrywanie podłączenia urządzenia, przy czym „gorące podłączenie” możliwe jest tylko w systemie Mac OS X. Systemy operacyjne z rodziny Microsoft Windows nie wspierają jeszcze funkcji HotPlug interfejsu Thunderbolt.

4. Topologia interfejsu Thunderbolt

W jednym systemie komunikacyjnym Thunderbolt może być do 20 urządzeń połączonych w topologii rozgałęzionej gwiazdy (wielowarstwowego drzewa), przy czym w łańcuchu „Daisy Chain” może być podłączonych szeregowo maksymalnie 6 urządzeń. Każde urządzenie wyposażone w port DisplayPort (z gniazdem mDP, patrz p.5) jest kompatybilne z Thunderbolt i może być podłączone do systemu Thunderbolt, przy czym musi zostać podłączone na końcu łańcucha. Tak podłączone urządzenie (np. wyświetlacz) jest obsługiwane przez kontroler Thunderbolt w trybie kompatybilności DisplayPort.



Rys. 3. Model komunikacyjny interfejsu Thunderbolt
Fig. 3. Communication model of Thunderbolt interface

Wykorzystując adaptory Thunderbolt, można podłączać do systemu komunikacyjnego Thunderbolt urządzenia wyposażone w starsze porty, np. IEEE 1394. Można również podłączać urządzenia Thunderbolt do sieci Gigabit Ethernet, wykorzystując odpowiedni adapter (prześciółkę). To wszystko sprawia, że system Thunderbolt mogą tworzyć nie tylko najnowsze urządzenia, które są wyposażone już w port Thunderbolt przez producenta, ale także urządzenia ze starszymi wersjami portów USB i IEEE 1394.

5. Przewód Thunderbolt

Wtyk i gniazdo Thunderbolt są zgodne ze standardem *Mini DisplayPort* (mDP), przy czym zdefiniowano znaczenie niektórych sygnałów. Standard Thunderbolt definiuje dwa rodzaje przewodów: elektryczny i optyczny (światłowod).

Przewód Thunderbolt zawiera dwa dwukierunkowe kanały do szybkiej transmisji (*HighSpeed*) i jeden do wolnej (*LowSpeed*). W każdym kanale sygnały są skrosowane, np. sygnał nadawania w kanale HighSpeed nadajnika połączony jest z sygnałem odbioru po stronie odbiornika. Transmisja w kanale wykonywana jest w trybie duplexu, tzn. jednocześnie mogą być przesyłane informacje w obie strony.

Transmisja *HighSpeed* w przewodzie elektrycznym wykonywana jest z wykorzystaniem obwodu różnicowego. Wtyki prze-

wodu optycznego zawierają transceivery (układy nadawczo-odbiorcze) optyczne, dlatego gniazda i wtyki Thunderbolt są zawsze w wersji elektrycznej, natomiast między wtykami transmisja odbywa się już za pośrednictwem optycznego przewodu. Z tego względu przewody optyczne (dokładniej hybrydowe) są znacznie droższe od odpowiedników elektrycznych.

Przewody elektryczne mogą mieć długość do 3 metrów, a optyczne do 100 metrów. Urządzenia Thunderbolt mogą być zasilane wprost z magistrali, przy czym pobierana przez nie moc nie może przekroczyć 10 W.

6. Podsumowanie

Interfejs Thunderbolt jest najmłodszym przedstawicielem interfejsów szeregowych, mimo tego jest już popularny wśród użytkowników komputerów Mac i PC wyposażonych w ten typ portu. Thunderbolt wykorzystuje zalety interfejsów PCI Express i DisplayPort, przez co stał się poważną konkurencją dla najnowszych wersji portów USB i IEEE 1394, oferując znacznie większą szybkość transmisji (rys. 1). W przyszłości wykorzystując przewody optyczne możliwa będzie transmisja danych z szybkością 100 Gb/s na znacznych odległościach z wykorzystaniem portów Thunderbolt.


Port Thunderbolt umożliwia jednoczesną transmisję strumieni danych i A/V, wykorzystując meta-protokół odpowiedzialny za multipleksowanie strumieni pakietów dwóch protokołów

PCIe i DisplayPort. Obsługa komunikacji zaimplementowana jest w jednym układzie kontrolera Thunderbolt, co znacząco ułatwi przystosowanie urządzeń peryferyjnych do nowego standardu Thunderbolt.

W 2013 roku pojawiła się kolejna wersja interfejsu Thunderbolt 2, która jest kompatybilna (w szczególności warstwa fizyczna) z pierwszą wersją. Nowy standard umożliwia m.in. agregację fizycznych kanałów w jeden logiczny, podwajając tym samym szybkość transmisji danych. W planach jest już następna wersja tego interfejsu (Thunderbolt 3), która wg zapowiedzi ma umożliwiać transmisję danych z szybkością 40 Gb/s.

Literatura

- [1] Thunderbolt Technology Brief, Intel Corporation 2012.
- [2] Thunderbolt Technology Reference Guide, Texas Instruments 2012.
- [3] Thunderbolt Device Driver Programming Guide, Apple Inc. 2011.
- [4] <https://thunderbolttechnology.net/> [dostęp 31.12.2012].

 **Michał Sawicki** - Instytut Informatyki, Politechnika Śląska

artykuł recenzowany