Autonegocjacja Prędkości w Interfejsach NBASE-T

Wprowadzenie

Autonegocjacja, czyli automatyczna wymiana informacji między np. między kamerą a kartą sieciową, pozwala wybrać najwyższą, wspólnie obsługiwaną prędkość transmisji .

Spis treści

WPROWADZENIE 1
ISTOTA I DEFINICJA AUTONEGOCJACJI NBASE-T 2
TECHNOLOGIA SYGNALIZACJI: IMPULSY FLP (FAST LINK PULSES) 2
HIERARCHIA PRIORYTETÓW PRĘDKOŚCI NBASE-T 2
DYNAMICZNA REDUKCJA PRĘDKOŚCI: LINK TRAINING I SNR 3
PRAKTYCZNE KONSEKWENCJE W SYSTEMACH WIZYJNYCH MACHINE VISION 3

© A1Pixel sp z o.o. ul. Krasińskiego 15/3, 87-100Toruń, Polska, www.a1pixel.pl ,

Istota i definicja autonegocjacji NBASE-T

Autonegocjacja to kluczowa funkcja warstwy fizycznej, która decyduje o wszechstronności standardu NBASE-T (IEEE 802.3bz). Jest to zautomatyzowana procedura sygnalizacyjna, która umożliwia dwóm połączonym urządzeniom automatyczną wymianę informacji o ich maksymalnych możliwościach technicznych. Na tej podstawie urządzenia wybierają najwyższą, wspólnie obsługiwaną prędkość transmisji realizowaną przez połączenie.

Technologia sygnalizacji: Impulsy FLP (Fast Link Pulses)

Proces autonegocjacji odbywa się na samym dole warstwy fizycznej (PHY) modelu OSI, zanim jeszcze zostanie ustanowione formalne połączenie sieciowe i rozpocznie się transmisja pakietowa. Mechanizm ten opiera się na szybkich impulsach połączenia – FLP (Fast Link Pulses).

- Charakterystyka impulsów: FLP to sekwencje impulsów elektrycznych, będące zmodyfikowaną i unowocześnioną wersją sygnałów używanych pierwotnie w standardzie 10BASE-T.
- Strona bazowa (Base Page): Urządzenia pakują te impulsy w 16-bitowe komunikaty nazywane stronami (Pages). Standardowa strona bazowa (Base Page) zawiera dedykowany rejestr rozgłaszania możliwości (Ability Advertisement Register). Znajdują się w nim konkretne bity reprezentujące obsługę prędkości: 100 Mbps, 1 Gbps, 2.5 Gbps, 5 Gbps oraz 10 Gbps.
- Przebieg wymiany: W momencie fizycznego podłączenia kamery NBASE-T do portu sieciowego, oba urządzenia zaczynają naprzemiennie wysyłać serię impulsów FLP. Odczytują nawzajem swoje zarejestrowane profile prędkości, porównują je z wewnętrzną tabelą priorytetów standardu IEEE i natychmiast wybierają najwyższy wspólny mianownik.

Hierarchia priorytetów prędkości NBASE-T

Standard IEEE narzuca ścisłą strukturę priorytetów podczas procesu negocjacji. Urządzenie zawsze dąży do zabezpieczenia najwyższej dostępnej przepustowości, nawet jeśli parametry fizyczne kabla mogą budzić wątpliwości. Poniższa czarno-biała tabela przedstawia oficjalną hierarchię ważności:

Pozycja / Priorytet	**Standard IEEE**	**Przepustowość nominalna**
1 (Najwyższy)	10GBASE-T	10 Gbps (10GigE)
2	5GBASE-T	5 Gbps (5GigE)
3	2.5GBASE-T	2.5 Gbps
4	1000BASE-T	1 Gbps (1GigE)
5 (Najniższy)	100BASE-TX	100 Mbps

Przykład działania: Jeśli kamera Emergent Bolt (10GigE) zostanie podłączona do switcha obsługującego maksymalnie standard 2.5GigE, kamera ogłosi dostępność trybów do 10G, switch zadeklaruje gotowość do 2.5G, a proces autonegocjacji zestawi stabilne połączenie na poziomie 2.5 Gbps.

Dynamiczna redukcja prędkości: Link Training i SNR

Obszarem, w którym standard NBASE-T wykazuje ogromną przewagę nad klasycznym, sztywnym standardem 10GBASE-T, jest zdolność adaptacji do rzeczywistych warunków panujących w kablu miedzianym. Odbywa się to poprzez procesy Link Training (strojenie łącza) oraz Downshifting (automatyczny powrót/redukcja prędkości).
Po wstępnym wybraniu prędkości (np. 10 Gbps), oba urządzenia wchodzą w fazę testową (Link Training), w celu zweryfikowania parametrów fizycznych linii miedzianej. Mierzą one współczynnik sygnału do szumu (SNR - Signal-to-Noise Ratio) oraz stopień błędów bitowych (BER - Bit Error Rate). Czynniki wpływające negatywnie na stabilność to:

- **Zastosowanie kabla niespełniającego kategorii**: Próba wymuszenia transferu 10G na przewodach niespełniających rygorystycznych norm częstotliwościowych.
- **Zbyt długie odcinki kablowe**: Przekroczenie dopuszczalnych długości strukturalnych dla danej częstotliwości granicznej.
- **Zakłócenia elektromagnetyczne (EMI):** Silne pole generowane przez maszyny ciężkie, falowniki lub przesłuchy od sąsiadujących wiązek kablowych (tzw. alien crosstalk).

Jeśli układy PHY wykryją, że poziom szumu (noise floor) uniemożliwia utrzymanie stabilnej, bezbłędnej transmisji 10 Gbps, cały proces autonegocjacji jest resetowany, a prędkość zostaje bezpiecznie zredukowana (downshift) do poziomu 5 Gbps lub 2.5 Gbps. W starszych systemach 10GigE słaba jakość kabla skutkowała całkowitym zerwaniem połączenia. W NBASE-T połączenie zostaje zachowane, choć z mniejszą przepustowością.

Praktyczne konsekwencje w systemach wizyjnych Machine Vision

W systemach wizyjnych wysokiej prędkości, proces autonegocjacji ma bezpośrednie, matematyczne przełożenie na parametry pracy kamery i wydajność akwizycji danych:

- **Spadek płynności (FPS):** Jeśli kamera Emergent o rozdzielczości 12 MP wynegocjuje natywne pasmo 10GigE, przesyła obraz z prędkością 68 fps. Jeśli degradacja sygnału wymusi redukcję NBASE-T do poziomu 5GigE, autonegocjacja w warstwie fizycznej obniża pasmo, protokół GigE Vision wykrywa to ograniczenie, a maksymalna liczba klatek zostaje automatycznie zdławiona do ok. 40 fps, aby uniknąć gubienia pakietów danych.
- **Ukryty Downshifting jako wyzwanie diagnostyczne:** W środowisku produkcyjnym inżynierowie mogą napotkać sytuację, w której kamera 10GigE nagle 'blokuje się' na niższej wartości FPS, nie zgłaszając przy tym twardych błędów sieciowych czy rozłączeń. Ponieważ autonegocjacja i downshifting odbywają się bezgłośnie na poziomie sprzętowym, uszkodzony lub słabo ekranowany kabel Cat6 może potajemnie zdegradować pasmo do 5G lub 2.5G. Pierwszym krokiem diagnostycznym powinno być zweryfikowanie aktualnie wynegocjowanej prędkości (Link Speed) w oprogramowaniu karty przechwytującej (NIC).