Interfejs GigE a NBASE-T

Wprowadzenie

Przez ponad dekadę standardowym interfejsem sieciowym stosowanym w kamerach przemysłowych był GigE Vision wykorzystujący transmisję 1 Gigabit Ethernet Wraz ze wzrostem rozdzielczości matryc CMOS oraz liczby klatek na sekundę przepustowość 1 Gb/s zaczęła stanowić ograniczenie dla wielu aplikacji.
Odpowiedzią rynku było wprowadzenie standardów Ethernet o pośrednich prędkościach 2.5 Gb/s i 5 Gb/s, określanych zbiorczo jako NBASE-T. Dzięki nim możliwe stało się kilkukrotne zwiększenie przepustowości bez konieczności przechodzenia bezpośrednio na bardziej kosztowną infrastrukturę powyżej 10GigE.
Warto podkreślić, że GigE Vision nie jest technologią transmisji, lecz standardem komunikacji kamer przemysłowych. Obecnie GigE Vision może pracować zarówno na 1GbE, jak i na 2.5GbE, 5GbE oraz 10GbE.
W praktyce historyczna nazwa „GigE" zmieniła się obecnie na „1BASE-T".

Spis treści

WPROWADZENIE 1
HISTORYCZNE NAZEWNICTWO 2
SZYBKOŚĆ PRZESYŁU 2
INFRASTRUKTURA KABLOWA 3
POŁĄCZENIA ŚWIATŁOWODOWE 3
TRUDNOŚĆ IMPLEMENTACJI 4
TYPOWE ZASTOSOWANIA 4
GIGE A NBASE-T – PERSPEKTYWA PROJEKTANTA SYSTEMÓW 5
GDY 10GIGE NIE WYSTARCZA: 25GIGE, 50GIGE I 100GIGE 6
Wprowadzenie 6
Porównanie przepustowości 6
Warstwa fizyczna 6
KARTY SIECIOWE (NIC) 7
Wymagania dla komputera 7
TYPOWE ZASTOSOWANIA 8
SKALOWALNOŚĆ SYSTEMÓW 8
PODSUMOWANIE 9
PRZYKŁADY DOSTĘPNYCH KAMER NBASE-T 10
Rozdzielczość vs fps dla 10GigE 10
Szybkość w funkcji interfejsu 11

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

Historyczne nazewnictwo

Historycznie, określenie kamera „GigE” oznaczała kamerę z interfejsem 1 Gb/s. Obecnie producenci coraz częściej stosują nazewnictwo:

Dawne określenie	Współczesne określenie
GigE Camera	1GigE Vision
Fast GigE	2.5GigE Vision
High Speed GigE	5GigE Vision
10GigE Camera	10GigE Vision

W warstwie fizycznej standardy 2.5GBASE-T i 5GBASE-T należą do rodziny NBASE-T.

Szybkość przesyłu

Parametr	1GigE	2.5GigE	5GigE	10GigE
Prędkość nominalna	1 Gb/s	2.5 Gb/s	5 Gb/s	10 Gb/s
Teoretyczna przepustowość	125 MB/s	312 MB/s	625 MB/s	1250 MB/s
Typowa przepustowość użytkowa	100–118 MB/s	280–300 MB/s	550–600 MB/s	1000–1200 MB/s
Względem 1GigE	1×	2.5×	5×	10×

Infrastruktura kablowa

W środowisku przemysłowym maksymalna długość przewodu określana przez normę Ethernet wynosi 100 m. Jednak dla zapewnienia odpowiedniego marginesu bezpieczeństwa, uwzględniającego:

- jakość przewodów,
- liczbę złączy,
- promienie gięcia,
- zakłócenia elektromagnetyczne,

Najczęściej przyjmuje się około 70 m jako praktyczną, maksymalną odległość roboczą.

Standard	Typowe okablowanie	Zalecana długość robocza
1GigE	Cat5e, Cat6	do 70 m
2.5GigE	Cat5e, Cat6	do 70 m
5GigE	Cat6, Cat6A	do 70 m
10GigE	Cat6A, Cat7	do 70 m

Dzięki temu zarówno GigE, jak i NBASE-T zachowują jedną z największych przewag nad USB3 Vision – możliwość pracy na znacznych odległościach bez stosowania wzmacniaczy i repeaterów.

Połączenia światłowodowe

W aplikacjach wymagających większych odległości, wielkoformatowych obrazów, wysokiego fps, lub wysokiej odporności EMC, stosowane są połączenia światłowodowe.

Technologia	Medium	Typowa odległość
1GigE	MMF	do 550 m
1GigE	SMF	kilka km
10GigE	MMF	300–400 m
10GigE	SMF	10 km i więcej

SMF-single mode fiber, MMF-multi mode fiber

Zastosowanie światłowodu eliminuje problemy związane z:

- masywną ilością danych
- zakłóceniami elektromagnetycznymi,
- przepięciami i różnicami potencjałów pomiędzy budynkami.

Wprowadza jednak konieczność lokalnego zasilania kamery.

Trudność implementacji

Kryterium	1GigE	2.5GigE	5GigE	10GigE
Koszt infrastruktury	niski	niski	średni	wysoki
Dostępność kart sieciowych	bardzo wysoka	wysoka	wysoka	wysoka
Wymagania dla przełączników	niskie	umiarkowane	umiarkowane	wysokie
Obciążenie komputera	niskie	umiarkowane	umiarkowane	wysokie
Łatwość wdrożenia	vbardzo wysoka	wysoka	wysoka	średnia

Największą zaletą NBASE-T jest możliwość zwiększenia przepustowości bez zasadniczej zmiany architektury systemu.

Typowe zastosowania

Zastosowanie	Zalecany interfejs
Czytniki kodów i OCR	1GigE
Kontrola jakości do 12 Mpix	1GigE
Kamery 12–20 Mpix	2.5GigE
Kamery 20–45 Mpix	5GigE
AOI i metrologia wysokiej rozdzielczości	5GigE
Systemy wielokamerowe	5GigE / 10GigE
Obrazowanie naukowe	10GigE
Skanowanie 3D	10GigE
Linie produkcyjne o dużej wydajności	10GigE

GigE a NBASE-T – perspektywa projektanta systemów

Największą zaletą klasycznego GigE Vision jest prostota i dojrzałość technologii. Dla większości aplikacji wykorzystujących kamery do około 10 Mpix przepustowość 1 Gb/s pozostaje wystarczająca.

NBASE-T umożliwia jednak zwiększenie przepustowości od 2.5 do 5 razy przy zachowaniu:

- tego samego protokołu GigE Vision,
- tych samych narzędzi programistycznych,
- podobnej infrastruktury sieciowej,
- transmisji PoE,
- dużych odległości pomiędzy kamerą i komputerem.

Z tego powodu obecnie obserwuje się stopniowe przechodzenie rynku z 1GigE na 5GigE. W wielu nowych projektach 5GigE staje się rozwiązaniem domyślnym, oferując około 600 MB/s rzeczywistej przepustowości przy zachowaniu prostoty charakterystycznej dla klasycznego GigE Vision.

Wymaganie	Rekomendacja
Niski koszt i prosta integracja	1GigE
Modernizacja istniejącej infrastruktury	2.5GigE
Nowe systemy wysokiej rozdzielczości	5GigE
Wiele kamer lub bardzo wysoki FPS	10GigE lub więcej
Duże odległości transmisji i Silne zakłócenia EMC	Światłowód

Obecnie 5GigE Vision stanowi dla większości nowych systemów widzenia maszynowego najlepszy kompromis pomiędzy kosztami, przepustowością i łatwością wdrożenia, podczas gdy 10GigE pozostaje rozwiązaniem dla najbardziej wymagających aplikacji wielokamerowych i metrologicznych.

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

Gdy 10GigE nie wystarcza: 25GigE, 50GigE i 100GigE

Wprowadzenie

Wraz z pojawieniem się matryc CMOS o rozdzielczościach przekraczających 100 Mpix, kamer liniowych generujących setki tysięcy linii na sekundę oraz wielokamerowych systemów inspekcyjnych, nawet przepustowość 10GigE zaczyna być niewystarczająca.
W odpowiedzi producenci kamer przemysłowych i kart sieciowych wprowadzili rozwiązania wykorzystujące standardy: 25GigE,50GigE i 100GigE.
Technologie te bazują na tej samej architekturze Ethernet i pozostają zgodne z filozofią GigE Vision, oferując wielokrotnie większą przepustowość przy zachowaniu standardowych mechanizmów sieciowych.

Porównanie przepustowości

Standard	Prędkość nominalna	Teoretyczna przepustowość	Typowa przepustowość użytkowa
10GigE	10 Gb/s	1250 MB/s	1000–1200 MB/s
25GigE	25 Gb/s	3125 MB/s	2800–3000 MB/s
50GigE	50 Gb/s	6250 MB/s	5500–6000 MB/s
100GigE	100 Gb/s	12500 MB/s	11000–12000 MB/s

Dla porównania pojedyncza kamera generująca strumień 2 GB/s wykorzystuje już około 160% możliwości 10GigE, ale jedynie około 65% przepustowości 25GigE.

Warstwa fizyczna

W przeciwieństwie do 1GigE, 2.5GigE i 5GigE, które często wykorzystują standardowe złącza RJ45, interfejsy 25GigE i szybsze są zwykle realizowane poprzez moduły światłowodowe lub kable DAC (Direct Attach Copper).

Standard	Typowe medium
10GigE	RJ45, SFP+
25GigE	SFP28
50GigE	QSFP28
100GigE	QSFP28, QSFP56

W praktyce systemy powyżej 10 Gb/s niemal nigdy nie wykorzystują złącz RJ45.

Karty sieciowe (NIC)

Przy przepływach rzędu kilku lub kilkunastu GB/s karta sieciowa staje się kluczowym elementem systemu.

NBASE-T	**Typowe interfejsy NIC**	**Interfejs magistrali komputera**	**Uwagi**
10GigE	Intel X520, Intel X710, NVIDIA/Mellanox ConnectX-4	PCIe Gen3 x4 lub x8	
25GigE	NVIDIA/Mellanox ConnectX-4 Lx, ConnectX-5, Intel E810	PCIe Gen3 x8, PCIe Gen4 x4	Przepustowość magistrali PCIe staje się już istotnym ograniczeniem
50GigE	NVIDIA/Mellanox ConnectX-5, ConnectX-6.	PCIe Gen4 x8, PCIe Gen4 x16	
100GigE	NVIDIA/Mellanox ConnectX-6, ConnectX-7, Intel IPU/E2000.	PCIe Gen4 x16, PCIe Gen5 x16. PCIe Gen5 x8,	Przy takich przepustowościach architektura komputera ma równie duże znaczenie jak sama kamera.

Wymagania dla komputera

Przy transmisjach powyżej 10GigE należy zwrócić uwagę na:

Parametr	**10GigE**	**25GigE**	**50GigE**	**100GigE**
Minimalna magistrala PCIe	Gen3 x4	Gen3 x8	Gen4 x8	Gen4 x16
Zalecana pamięć RAM	16 GB	32 GB	64 GB	128 GB+
Typowe procesory	Core i7 / Ryzen 7	Xeon / Ryzen 9	Xeon	Xeon / EPYC
Buforowanie danych	średnie	wysokie	bardzo wysokie	krytyczne

W praktyce systemy 50GigE i 100GigE często wykorzystują serwery klasy przemysłowej zamiast standardowych komputerów PC.

Typowe zastosowania

Zastosowanie	**Interfejs**
Kamery do 45 Mpix	5GigE
Kamery 65–100 Mpix	10GigE
Kamery >100 Mpix	25GigE
Szybkie kamery liniowe	25GigE
Wielokamerowe AOI	25GigE / 50GigE
Inspekcja półprzewodników	50GigE
Systemy Web Inspection	50GigE
Obrazowanie naukowe	50GigE
Systemy skanowania dużych powierzchni	100GigE
Centra danych i AI Vision	100GigE

Skalowalność systemów

Jedną z największych zalet Ethernetu jest możliwość agregacji wielu kamer.
Przykładowo:

Konfiguracja	**Łączny strumień**
4 × 5GigE	około 2.4 GB/s
8 × 5GigE	około 4.8 GB/s
4 × 10GigE	około 4.5 GB/s
8 × 10GigE	około 9 GB/s

Oznacza to, że pojedyncza karta 100GigE może obsłużyć wiele kamer 10GigE bez konieczności instalowania wielu kart sieciowych.

Podsumowanie

W segmencie klasycznych systemów widzenia maszynowego dominującymi technologiami pozostają obecnie 1 -10GigE. Jednak w zastosowaniach metrologicznych, półprzewodnikowych i naukowych obserwowany jest szybki wzrost wykorzystania 25GigE.

Interfejsy 50GigE i 100GigE są obecnie stosowane głównie w najbardziej wymagających aplikacjach, gdzie pojedyncza kamera może generować strumień danych liczony w wielu gigabajtach na sekundę.

Interfejs	**Typowy obszar zastosowania**
1GigE	standardowe systemy wizyjne
5GigE	nowoczesne systemy przemysłowe
10GigE	wysokie rozdzielczości i wielokamerowość
25GigE	metrologia i szybkie kamery liniowe
50GigE	inspekcja półprzewodników
100GigE	największe systemy przemysłowe i naukowe

Obecnie granica pomiędzy klasycznym widzeniem maszynowym a rozwiązaniami wykorzystywanymi w centrach danych zaciera się. Kamery 25GigE i szybsze coraz częściej wykorzystują tę samą infrastrukturę sieciową, karty NIC oraz technologie światłowodowe, które od lat są stosowane w serwerach HPC i systemach sztucznej inteligencji.

Przykłady dostępnych kamer NBASE-T

Firma Emergent Vision Technologies (EVT) posiada w swoim portfolio kamery oparte na dokładnie tych samych sensorach, ale wyposażone w różne interfejsy sieciowe od 1 do 100GigE.

https://emergentvisiontec.com

Rozdzielczość vs fps dla 10GigE

Wpływ rozdzielczości matrycy na maksymalną liczbę klatek na sekundę (FPS) przy określonym ograniczeniu pasma transmisyjnego interfejsu 10GigE (format 8-bit Mono8 / rawRGB8).

Model kamery EVT	Matryca / Sensor	Rozdzielczość	Dokładna rozdzielczość	Maks. szybkość (fps)
Bolt HB-500-SB	Sony IMX426	0.5 MP	812 x 620	1594 fps*
Bolt HB-2000-SB	Sony IMX421	2.8 MP	1936 x 1464	392 fps
Bolt HB-5000-SB	Sony IMX250	5.1 MP	2464 x 2056	163 fps
Bolt HB-12000-SB	Sony IMX253	12.4 MP	4112 x 3008	68 fps
Bolt HB-20000-SB	Sony IMX367	19.6 MP	4432 x 4436	43 fps
Bolt HB-50000-SB	Sony IMX601	50.0 MP	8384 x 6000	23 fps

* max, szybkość odczytu matryce SONY IMX 426 wynosi 1594.7 fps dla 8-bit. Sensor ogranicza fps.

Wąskie gardło pasma przy wysokich rozdzielczościach: W przypadku potężnej matrycy o rozdzielczości 50 MP (model HB-50000-SB), strumień surowych danych blokuje dostępne pasmo NBASE-T już przy wartości 23 FPS. Wynika to z faktu, że każda pojedyncza klatka w formacie nieskompresowanym zajmuje w pamięci około 50 MB.

Szybkość kamery z Sony IMX530 w funkcji interfejsu

Jako stały punkt odniesienia dla poniższego zestawienia przyjęto sensor klasy 12 MP Sony IMX530 (12 MP) , o rozdzielczości 4112 x 3008 pikseli, pracujący w trybie 8-bitowym.

W nowoczesnych systemach wizyjnych to rzadko sensor stanowi barierę wydajnościową – najczęściej jest nią medium transmisyjne (kabel). Matryca IMX530 posiada fizyczną architekturę zdolną wygenerować ponad 150 pełnych klatek na sekundę. Podłączenie jej do starszych standardów 1GigE lub 5GigE sztucznie dławi jej potencjał. Dopiero magistrale klasy 25GigE oraz wyższe pozwalają na pełne wykorzystanie możliwości matrycy.

Interfejs	Seria kamer EVT	Teoretyczne pasmo	Maks. fps (12 MP)	Główne obszary zastosowań
1GigE	Standard przemysłowy	1 Gbps (~125 MB/s)	~8 - 10	Ekonomiczne, długie kable, interfejs tworzy silne ograniczenie.
5GigE	Copa / Seria NBASE-T	5 Gbps (~625 MB/s)	~40	Zrównoważony kompromis, możliwość użycia miedzianych kabli Cat6.
10GigE	Bolt (HB-12000-SB)	10 Gbps (~1.25 GB/s)	68	Klasyczny standard high-speed. Pełne wykorzystanie matryc IMX253.
25GigE	Zenith (HZ-12000-G)	25 Gbps (~3.125 GB/s)	IMX530:150, Teoria:188	Obsługa nowoczesnych sensorów, znacznie szybszych niż limit 10G. Pełne wykorzystanie matryc IMX253.
50GigE	Pinnacle (HE-12000-G)	50 Gbps (~6.25 GB/s)	IMX530:150, Teoria: ~350 - 400	Konfiguracje dual-lane (2x25G) lub single-lane 50G dla ultra-szybkich matryc.
100GigE	Xtreme (HZ-100-G)	100 Gbps (~12.5 GB/s)	IMX530:150, Teoria: 600+	Najwyższa półka wydajnościowa; bezstratny przesył setek klatek 12 MP bez kompresji.

Aby zapewnić stabilną i bezbłędną transmisję tak olbrzymich strumieni danych, wyższe interfejsy (25G, 50G, 100G) w urządzeniach Emergent Vision Technologies zastępują tradycyjne kable miedziane RJ45 łączami światłowodowymi (moduły SFP28 oraz QSFP28). Umożliwia to bezstratną transmisję sygnału na bardzo duże odległości.