



ALEKSANDER KONIOR¹⁾
JACEK KAWA²⁾

INTEGRATION OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS BY A RELATIONAL DATABASE PLATFORM

INTEGRACJA SYSTEMÓW ITS POPRZEZ PLATFORMĘ RELACYJNYCH BAZ DANYCH

STRESZCZENIE. Inteligentne systemy transportowe (ITS) realizują zadania polegające zwłaszcza na zwiększeniu bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz wzroście efektywności wykorzystywania systemów transportowych. Stanowią element, od którego oczekuje się wysokiej niezawodności oraz trwałości. Oprócz zagadnień konstrukcyjnych do rozstrzygnięcia pozostaje kwestia wyboru metody integracji elementów oraz urządzeń tworzących systemy ITS. Integracja poprzez translację stale ewoluujących protokołów komunikacyjnych może powodować wzrost zawodności wymiany danych pomiędzy centrum zarządzania ruchem (CZR) a urządzeniami przydrożnymi. Dynamiczny rozwój, zmiany technologii wykorzystywanych przy realizacji systemów ITS zwłaszcza w odniesieniu do urządzeń przydrożnych może w dłuższym okresie czasu ujawniać się brakiem kompatybilności wstecznej, powodując konieczność modernizacji sprawnych urządzeń. W opracowaniu przed stawiono propozycję integracji urządzeń przydrożnych z CZR za pomocą integracyjnej bazy danych: alternatywy posiadającej istotne praktyczne zalety wobec translacji protokołów komunikacyjnych.

SŁOWA KLUCZOWE: bazy danych, integracja, ITS.

ABSTRACT. The main purpose of Intelligent Transport Systems (ITS) is to improve traffic safety and maximise efficiency of the existing transport systems. The ITS is an element from which a high level reliability and durability are expected. Besides design aspects another issue to be dealt with is selection of the method to be used for integration of the ITS components and equipment. Integration through translation of constantly evolving communications protocols may affect reliability in data exchange between the traffic management centre (TMC) and the connected roadside units (RSU). The dynamic development of systems and changes in ITS technologies, including, in particular, the roadside units technologies may, in the long run, result in no backward compatibility and the need to modernise the existing equipment, even though it may be otherwise fully operational. The paper presents a proposed integration of roadside units with the TMC by means of an integration database as an alternative to integration based on translation of communications protocols which is worth considering owing to its significant practical advantages.

KEYWORDS: databases, integration, ITS.

¹⁾ APM Konior Piwowarczyk Konior Sp. z o.o., Bielsko Biala; aleksander.konior@apm.pl

²⁾ Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Inżynierii Biomedycznej; jacek.kawa@polsl.pl (✉)

1. WPROWADZENIE

„Inteligentne systemy transportowe (ang. *Intelligent Transport Systems*, ITS) to zaawansowane rozwiązania, które nawet mimo braku cech inteligencji, jako takiej mają na celu dostarczanie innowacyjnych usług związanych z różnymi trybami transportu oraz pozwalają różnym użytkownikom być lepiej poinformowanymi i w bezpieczniejszy oraz sprytniejszy (w znaczeniu komfortowy) sposób używać sieci transportowej” [1]. W Polsce tak rozumiane systemy ITS są wdrażane przez instytucje rządowe (Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad) jak i jednostki samorządu terytorialnego (np. miasta na prawach powiatu jak Gdańsk i Warszawa). Brak jest jednak powszechnie uzgodnionej i akceptowanej Krajowej Architektury ITS, która w spójny sposób określałaby wymogi techniczne jak i zasady przepływu i gromadzenia danych [2]. Obecnie przez GDDKiA oraz Stowarzyszenie ITS Polska podejmowane są próby opracowania specyfikacji technicznych na potrzeby Krajowego Systemu Zarządzania Ruchem. Na obecnym etapie wykonano 8 specyfikacji technicznych dostępnych na stronie KSZR [3].

W skład ogólnie rozumianej infrastruktury ITS wchodzi m.in.: sygnalizatory drogowe, detektory pojazdów, kamery ANPR (*Automatic Number Plate Recognition*), stacje meteorologiczne, znaki o zmiennej treści oraz odpowiednie oprogramowanie, dzięki któremu – sterowanie realizowane jest z poziomu centrum zarządzania ruchem (CZR) – możliwe jest dostarczenie odpowiednich usług. Innymi elementami systemu ITS mogą być odpowiednio wyposażone i skomunikowane pojazdy, systemy łączności, interfejsy do innych systemów itp. Wszystkie elementy połączone są siecią transmisji danych o parametrach zależnych od wymaganej szybkości transferu, lokalizacji, priorytetu i oczekiwanej niezawodności. Na poziomie warstwy sprzętowej stosowane są zarówno rozwiązania kablowe z siecią światłowodową, kabel miedziany jak i komunikacja bezprzewodowa (sieć komórkowa, WiFi, Bluetooth). W warstwie sieci dominuje protokół internetowy IPv4, ale proponuje się także wykorzystanie rozwiązań opartych na protokole Geonetworking i IPv6 [4]. Aplikacje komunikują się z wykorzystaniem różnych protokołów specyficznych dla danych zastosowań, w niektórych przypadkach właściwych tylko dla pojedynczego producenta lub grupy producentów. Brak ustandaryzowanych protokołów komunikacyjnych skutkuje koniecznością każdorazowego tworzenia interfejsów. Ogólną architekturę systemów pokazano na Rys. 1, opracowanym bezpośrednio na podstawie [4].

1. INTRODUCTION

“Intelligent Transport Systems (ITS) are advanced applications which without embodying intelligence as such, aim to provide innovative services relating to different modes of transport and traffic management and enable various users to be better informed and make safer, more coordinated and >>smarter<< use of transport networks” [1]. In Poland Intelligent Transport Systems, understood as defined above, are being phased in by authorities, including both central government agencies (GDDKiA - Polish highway agency) and local governments as well (e.g., Gdańsk and Warsaw city-counties). However, there exists no generally approved and accepted National ITS Architecture to consistently specify the technical requirements, data flow and collection principles [2]. Attempts are undertaken by GDDKiA and ITS Polska (trade association) to develop technical specifications for the National Traffic Management System (NTMS). Eight such specifications have been completed so far and they are available at the NTMS (KSZR) website [3].

The broadly understood ITS infrastructure includes: traffic lights, vehicle detectors, ANPR (*Automatic Number Plate Recognition*) cameras, weather stations, variable message signs (VMS) and adequate software to provide the relevant services in a system where traffic is controlled from the TMC level. The other 'communicated' components of the Intelligent Transport System may include adequately equipped and linked vehicles, communications systems, interfaces to other systems, etc. All the elements are linked via data transfer network which parameters depend on the required transfer rate, location, priority and expected reliability. At the equipment layer level both wired fibre-optic and copper cable and wireless systems (cellular network, WiFi, Bluetooth) are used. At the network layer Internet Protocol version 4 is the most common option, however, solutions based on Geonetworking and IPv6 are also proposed [4]. Software tools communicate using various protocols as appropriate for their specific applications, and these are in some cases limited to a single supplier or a group of suppliers. With no standard communications protocols it is necessary to develop specific interfaces on a case-by-case basis. The overall architecture of the systems, prepared on the basis of [4], is presented in Fig 1.

The ITS Station Internal Network (linking for instance, proximity sensors, ANPR cameras, etc.) along with the ad hoc network supply data via the ITS Access Network, or

Wewnętrzna, stała sieć ITS (*ITS Station Internal Network*) (łączy np. czujniki zbliżeniowe, kamery ANPR itp.) wraz z siecią tworzoną ad hoc dostarczają danych poprzez sieć dostępową (*ITS Access Network*) lub Internet do odbiorców zlokalizowanych bądź w dedykowanych sieciach prywatnych (np. CZR), bądź w sieci otwartej. W każdej z tych sieci wykorzystane mogą być, w niektórych przypadkach odmienne protokoły transportowe, co rodzi nowe wyzwania w dziedzinie niezawodności i bezpieczeństwa. Znajduje to odzwierciedlenie tak w praktyce, jak i w analizach literaturowych. Jak wskazuje Williams [5] jednym z głównych zagadnień analizowanych obecnie przez organizacje zajmujących się praktycznym wdrażaniem rozwiązań ITS jest poprawa bezpieczeństwa tych systemów oraz zwiększenie ich otwartości podczas gdy proces standaryzacji systemów ITS stymuluje ewolucję rozwiązań a nie stara się za nimi nadążyć. Dodatkowo: „Standardy usług sieciowych [Web Services] w dziedzinie ITS są niezbędne dla zwiększenia bezpieczeństwa i niezawodności”. A także „kraje nie powinny wykorzystywać własnych regulacji w dziedzinie ITS jako środka regulującego wymianę handlową”.

via the Internet to receivers located both in dedicated private networks (such as TMC) and in an open network. In each of these networks different transport protocols may be used in some specific cases, which is a challenge in terms of system reliability and security. This is reflected both in real-life situations and in the published studies. As indicated by Williams [5] one of the principal issues in the focus of organizations dealing with practical implementation of ITS solutions is how to improve security and make the systems more open while the process of standardization of Intelligent Transport Systems stimulates evolution of solutions, rather than tries to keep pace with them. Therefore “Web service standards are needed for ITS in order to increase security and robustness”. Moreover “Countries should not use national ITS standards as a barrier to trade”.

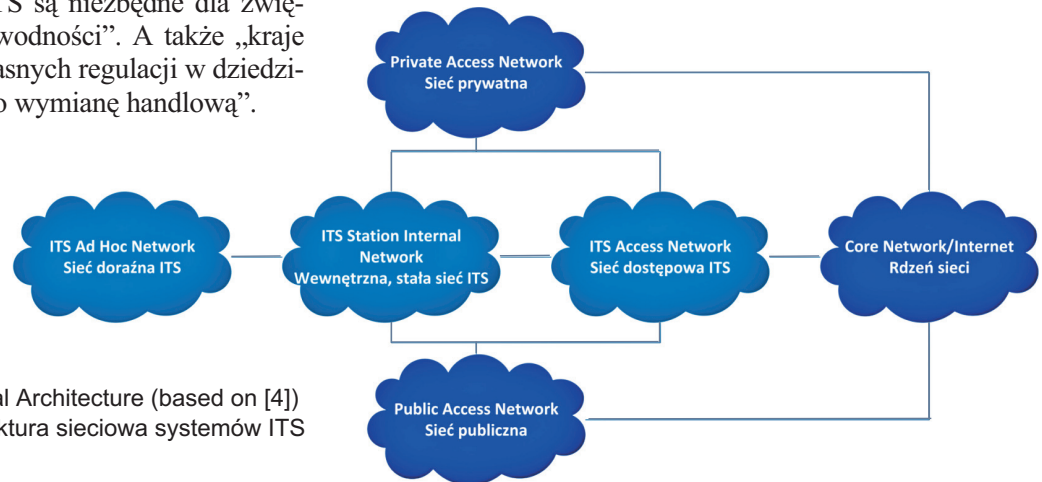


Fig. 1. The ITS General Architecture (based on [4])
Rys. 1. Ogólna architektura sieciowa systemów ITS
(na podstawie [4])

Podobne stanowisko podtrzymuje także Komisja Europejska („Systemy ITS należy budować w oparciu o otwarte i publiczne standardy dostępne dla wszystkich dostawców oraz użytkowników usług i aplikacji bez dyskryminowania kogokolwiek” [1]) czy GDDKiA i Stowarzyszenie ITS Polska: „strony porozumienia będą dążyć do wypracowania otwartych, przejrzystych, opartych na najnowszej wiedzy i postępie technicznym specyfikacji, dostępnych dla wszystkich zainteresowanych podmiotów” [3]. Uprawnione wydaje się być tym samym stwierdzenie, że generalnie stosowanie rozwiązań otwartych i sprawdzonych (także w innych dziedzinach) powinno zaowocować zwiększeniem efektywności i jakości systemów ITS niezależnie od braku konkretnych regulacji prawnych.

This position is shared by the European Commission (“the Intelligent Transport Systems should be built based on open and public standards and available on a non-discriminatory basis to all application and service suppliers and users” [1]) as well as by the Polish highway agency GDDKiA and the ITS Polska trade association: “parties to the agreement shall aim at working out open, transparent specifications based on state-of-the-art knowledge and technical advancement, available to all interested entities” [3]. Therefore, it seems to be right to say that use of open and well-proven (also in other fields of application) solutions should generally improve the effectiveness and quality of Intelligent Transport Systems in a situation where there are no specific legal regulations in place.

W niniejszej pracy zawarto opis proponowanego rozwiązania integrującego różne podsystemy w ramach systemów ITS, wykorzystującego otwarte standardy i protokoły. W pierwszej kolejności przedyskutowano wybrane problemy zidentyfikowane w rzeczywistych realizacjach systemów ITS podkreślając zwłaszcza zauważone konsekwencje stosowania rozwiązań niestandardowych bądź dostępnych tylko u określonych producentów sprzętu. Następnie wprowadzono pojęcie architektury systemu Integracyjnej, Relacyjnej Bazy Danych (IBD) oraz omówiono elementy systemu oraz ich cechy. W końcowej części pokazano przykładową realizację ITS wykorzystującą IBD oraz przeprowadzono dyskusję rozwiązania. Podsumowano też pracę.

2. WYBRANE PROBLEMY INTEGRACJI URZĄDZEŃ PRZYDROŻNYCH

2.1. NIEZGODNOŚĆ PROTOKOŁÓW I TECHNOLOGII

W skład systemów ITS wchodzi urządzenia przydrożne różnych kategorii realizujące określone funkcje systemów. Jak przedstawiono na Rys. 2 spektrum wykorzystywanych elementów jest bardzo szerokie. Tak pojedynczych urządzeń, jak całego systemu czy wreszcie samego procesu tworzenia i eksploatacji dotyczyć mogą różne problemy wynikające z wybranej technologii, które wpływają na niezawodność systemu ITS postrzeganego, jako całość.

W znakomitej większości przypadków poszczególne kategorie urządzeń w systemie ITS dostarczane są przez różnych producentów. Może zdarzyć się sytuacja, gdy dwóch lub więcej producentów dostarcza urządzenia należące do tej samej kategorii. Dla przykładu, znaki o zmiennej treści mogą być dostarczane przez dwóch producentów specjalizujących się odpowiednio w technologii znaków o rysunku ciągłym i nieciągłym. Producenci z reguły implementują własne, dedykowane [6] i specyficzne protokoły komunikacyjne, które obsługują określony zakres funkcjonalności dla danej klasy urządzeń. Niespotykana jest raczej sytuacja, gdy urządzenia (nawet tego samej kategorii), pochodzące od różnych producentów, posiadają zaimplementowane w pełni zgodne protokoły komunikacyjne.

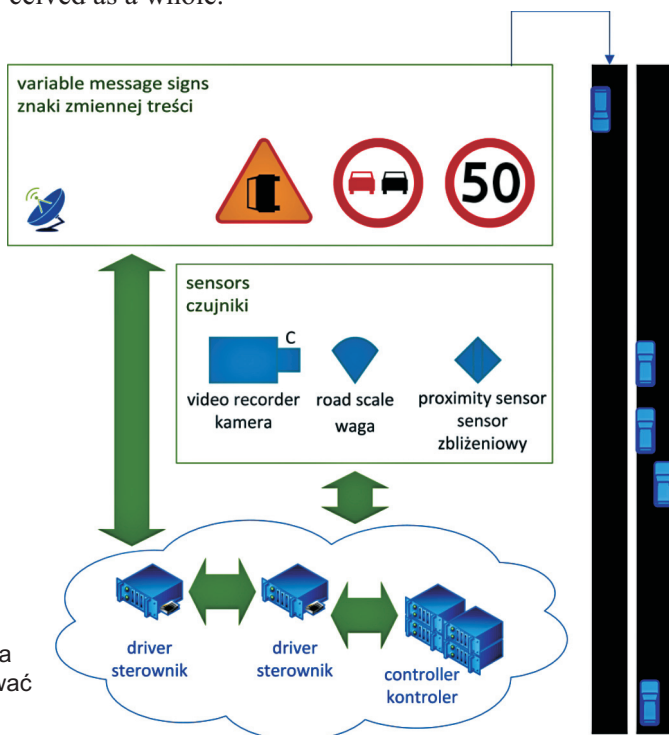
Fig. 2. Exemplary ITS: elements may be delivered by various manufacturers and use different protocols
Rys. 2. Przykład rzeczywistego systemu ITS: urządzenia mogą pochodzić od różnych producentów i wykorzystywać różne protokoły

This paper contains a description of the proposed system integrating various sub-systems within the ITS framework using open standards and protocols. It starts with discussing certain problems identified in existing Intelligent Transport System projects focussing on the observed consequences of using non-standard or proprietary hardware designs. Next, a notion of Integrating Relational Database system architecture is introduced followed by description of the system components including their characteristics. Finally, an example of Intelligent Transport System using the IBD is presented including discussion of the proposed design.

2. SELECTED PROBLEMS PERTAINING TO INTEGRATION OF ROADSIDE UNITS

2.1. LACK OF PROTOCOL / TECHNOLOGY COMPATIBILITY

Intelligent Transport Systems comprise roadside units of different categories, designed to perform specific functions. As it can be seen in Fig. 2, a wide variety of components are used in them. Both the devices and the system as a whole and finally the very process of development and operation may involve problems specific to the chosen technology which may affect the reliability of ITS perceived as a whole.



Często bywa również tak, że wraz z kolejną, nowszą generacją sprzętu tego samego producenta, pozwalającą na realizację nowych funkcjonalności, następuje modyfikacja protokołu komunikacyjnego umożliwiającego dwukierunkową wymianę danych z CZR a także sterowanie funkcjami urządzeń. Modyfikacja protokołu komunikacyjnego nie zapewnia niestety przy tym często kompatybilności wstecznej. Taka sytuacja uniemożliwia proste zastąpienie starszych urządzeń, rozwiązaniem nowszej generacji np. w przypadku nieusuwalnej awarii lub zniszczenia. Włączenie do systemu nowych urządzeń każdorazowo wymaga stworzenia odrębnej struktury informatycznej wyodrębnionej w ramach istniejącej sieci i przeznaczonej dla urządzeń posiadających odmienny protokół komunikacyjny. Przedsięwzięcie tego rodzaju zawsze jest obciążone ryzykiem wystąpienia niezamierzonych efektów, trudnych do przewidzenia na etapie planowania i projektowania. Dodatkowo mogą wystąpić techniczne problemy z konfiguracją sieci, która nie była projektowana w sposób umożliwiający łatwe przyłączenie odmiennie skomunikowanych urządzeń. Opisana powyżej sytuacja może wystąpić ze znacznie większą intensywnością w przypadku, gdy zaistnieje potrzeba zastąpienia uszkodzonego urządzenia jednego producenta, urządzeniem innego producenta lub rozbudowy systemu z wykorzystaniem sprzętu niekompatybilnego pod względem protokołu komunikacyjnego z dotychczas stosowanym.

2.2. OGRANICZONY PROCES TESTOWANIA

Kolejnym problemem, który występuje niemalże zawsze, podczas realizacji zadań związanych z systemami ITS jest stosunkowo krótki czas ich realizacji. Od chwili podjęcia decyzji o zastosowaniu konkretnego rozwiązania do chwili instalacji urządzeń i uruchomienia systemu transmisji danych upływa zazwyczaj kilka miesięcy. Tryb tworzenia dedykowanego oprogramowania wykorzystującego translację protokołów jest wtedy z konieczności skracany: brak czasu uniemożliwia z przyczyn oczywistych przeprowadzenie kompleksowych testów oraz w konsekwencji implementację odpowiednich mechanizmów zapobiegających błędom. Oprogramowanie wdrażane jest tym samym już na wczesnym etapie po wytworzeniu - typowo po uzyskaniu zadowalającej sprawności w testach laboratoryjnych. Jako, że w warunkach symulowanych nie ma jednak możliwości pełnego odwzorowania warunków rzeczywistych (zwłaszcza, jeżeli weźmie się pod uwagę rozległość sieci w systemach ITS i mnogość możliwych stanów), należy oczekiwać, że implementowane jest tym samym oprogramowanie obciążone zwiększonym ryzykiem wystąpienia błędów, posiadające

In a great majority of cases the respective equipment categories within the ITS are supplied by different manufacturers. It is also possible to have two or more manufacturers even within one equipment category. For instance, variable message signs may be supplied by two different manufacturers: one specializing in continuous and the other in discontinuous signs technology. Manufacturers usually implement their proprietary, dedicated [6] and specific communications protocols handling a specific range of functionality for a given class of equipment. It hardly ever happens that devices (even of the same category) from different manufacturers have implemented fully compatible communications protocol.

Moreover, often along with launching the next, newer generation of equipment by the same manufacturer capable to perform new functionalities, the communications protocol, that is already used in two-way data exchange with TMC and controlling the functions of devices, is modified. Moreover, the modification of the communications protocol in many cases does not ensure backward compatibility. Simple replacement of existing devices with a newer generation ones, as may be needed for example due to irreparable failure or loss is in these circumstances impossible. Every time new equipment is incorporated in the system, it is necessary to create a separate IT infrastructure sectioned off within the existing network and dedicated to the devices communicating with a different communications protocol. Such operation always carries a risk of unexpected effects which are difficult to foresee at the planning and system design phases of the project. Additionally, there might be problems encountered in configuration of a network which does not support problem-free connection of differently communicating devices. It may be much more difficult to cope with such problems, if a need arises to replace a defective device with a new one coming from another manufacturer, or to expand the system with equipment using communications protocol not compatible with the formerly used one.

2.2. TESTING LIMITATIONS

Another problem encountered in almost each ITS implementation project is a relatively small amount of time allocated for their completion. It is usually a few months' time from choosing the system design till installation and commissioning of the data transfer system. The design process to develop dedicated software using protocol translation is then, by necessity, reduced and time pressure prevents thorough testing and implementation of adequate error-proofing

wiele cech produktu niedojrzałego. Błędy takie mogą ujawnić się zwłaszcza w sytuacjach kryzysowych, w których to najbardziej wymaga się, aby system ITS był w pełni sprawny, skutecznie dostarczając kierującym wartościową informację o zaistniałym zagrożeniu. Innymi słowy niedostatecznie sprawdzone oprogramowanie może się wtedy okazać słabym punktem całego systemu z uwagi na niedojrzałość zaimplementowanych rozwiązań.

Problem ten jest znany i analizowany w ramach inżynierii oprogramowania [7]. Testy określonych funkcji i zachowań rzeczywistego systemu ITS, integracji itp. powinny być przewidziane na etapie uruchomienia. Mogą obejmować symulację różnego rodzaju uszkodzeń każdego z podsystemów oraz poszczególnych urządzeń w celu zweryfikowania zachowania całości systemu. Brak jest jednak w Polsce odpowiednich wytycznych w tym zakresie, a praktyka wskazuje, że projekty ITS traktowane są przez inwestorów nie, jako projekty z dziedziny technologii informacyjnych (IT), a raczej, jako inwestycje o charakterze infrastrukturalnym, w których prowadzenie tak rozległych testów nie jest normą. Dodatkowym problemem jest – nawet przy założeniu, że testy miałyby być prowadzone – geograficzna rozległość systemów ITS. Przeprowadzenie pełnych testów terenowych, gdy odległości dzielące poszczególne lokalizacje urządzeń przydrożnych mogą sięgać nawet dziesiątek kilometrów, jest przedsięwzięciem bardzo trudnym, kosztowym i czasochłonnym.

2.3. KONSTRUKCJA URZĄDZEŃ I PODSYSTEMÓW

Od urządzeń przydrożnych realizujących fundamentalne funkcje systemów ITS oczekuje się m.in. wysokiej skuteczności oraz niezawodności przy dużej dostępności. Zasadniczy wpływ na te parametry ma konstrukcja urządzeń, ich architektura i charakterystyki niezawodnościowe poszczególnych elementów składowych. Zabezpieczenia sprzętowe i programowe stosowane przez producentów w tym kontekście są koniecznością zwłaszcza w odniesieniu do urządzeń sygnalizacyjnych takich jak np. znaki o zmiennej treści. Biorąc pod uwagę wymagania wynikające z obowiązujących przepisów, aby w przypadku wykrycia nieprawidłowości w pracy, urządzenia raportowały swój stan włączając jednocześnie tryb powrotu do stanu podstawowego (neutralnego w punktu widzenia sterowania ruchem) [8], zasadne staje się chronienie przez producentów dostępu do oprogramowania wbudowanego oraz do wewnętrznych paneli parametryzacji. Oczywiście dążenie do ochrony tak pojmowanych partykularnych interesów każdego z producentów sprzętu

measures. As a result, software is implemented quite soon after it has been developed - usually as soon as satisfactory results have been obtained in laboratory tests. However, since it is impossible to ideally represent the real-life conditions in a laboratory (especially if we take into consideration the vastness of the networks used in the Intelligent Transport Systems, as well as the multitude of possible statuses) the implemented software may well be expected to have many features of immature product and, as such, carry a higher risk of error. Such errors may manifest themselves especially in crisis situations when it is essential for the system to be fully operational and effective in providing motorists with valuable information on the existing hazards. In other words, insufficiently tested software may at such time prove to be a weak point of the whole system due to immaturity of the implemented solutions.

This problem is well known and it is analysed in software engineering process [7]. Testing of specific functions and behaviours of a real-life ITS, integrations, etc. should be included in the system commissioning process. The test may encompass simulation of various types of failures of the respective subsystems and devices in order to verify the performance of the system as a whole. However, there are no appropriate guidelines in Poland, and the practice indicates that Owners of ITS projects tend to perceive them as infrastructural rather than IT projects and for infrastructural projects such a wide scope of testing is not specified as a standard. If, nevertheless, a decision is made to carry out such comprehensive testing, there appears another challenge, namely geographical vastness of the Intelligent Transport Systems. Carrying out full-scope field testing with roadside unit locations spaced by distances measured in tens of kilometres, is a most difficult, costly and time-consuming task.

2.3. EQUIPMENT AND SUBSYSTEM DESIGN

Roadside units performing fundamental functions in Intelligent Transport Systems are expected, among other things, to be highly effective and reliable and at the same time highly accessible. The design of equipment, its architecture and reliability of components have a fundamental influence on these parameters. Thus factory implemented hardware and software protections are indispensable, especially in the case of signalling equipment such as variable message signs. Taking into consideration the requirement resulting from binding regulations, that upon detection of any irregularities, the equipment should report its status

wykorzystanego do budowy systemów ITS skutkuje publicznym ujawnianiem wyłącznie parcjnalnej wiedzy o dostarczanych urządzeniach oraz oprogramowaniu. Niejawne części tej dokumentacji bywają jednak kluczowe dla skutecznego procesu integracji.

Należy zauważyć, że podmioty dysponujące wystarczającą wiedzą, mające dostęp do odpowiedniej dokumentacji z dużym prawdopodobieństwem dokonają w tej sytuacji skutecznej integracji z zastrzeżeniem jednak, iż procedura uruchamiania systemów ITS zostanie przygotowana i przeprowadzona w sposób prawidłowy oraz czas wdrożenia pozwoli na identyfikację i korektę błędów oprogramowania. Praktyka wskazuje, że okres weryfikacji poprawności parametryzacji oprogramowania oraz usuwania zidentyfikowanych obszarów braku kompatybilności z innymi elementami systemu może wynosić nawet do 12 miesięcy. Takie prace oczywiście wymagają uprzednich przygotowań, co powinno zostać przewidziane już na etapie opracowania procedury przetargowej, projektu itp. Reasumując można stwierdzić, że w systemach, ITS wystąpić mogą różnego rodzaju problemy w tym m.in.:

1. szybkie starzenie się technologii i niekompatybilność rozwiązań,
2. istnienie ukrytych błędów będących konsekwencją niedostatecznego testowania,
3. ograniczony dostęp do specyfikacji technicznej dla integratorów systemów.

Są one typowe dla projektów z dziedziny IT i częściowo mogą zostać rozwiązane poprzez wprowadzenie rozwiązań i praktyk znanych z inżynierii systemów informatycznych. W przypadkach wyszczególnionych powyżej obejmuje to głównie testowanie (w przypadku 2) oraz wykorzystywanie rozwiązań otwartych, przetestowanych i standardowych (w przypadku 3). Wykorzystanie rozwiązań otwartych, przetestowanych i standardowych jest podstawową cechą systemów budowanych w oparciu o integracyjną, relacyjną bazę danych.

3. INTEGRACYJNA, RELACYJNA BAZA DANYCH (IBD)

Integracyjna, relacyjna baza danych stanowi w założeniu centralną część systemu ITS, zapewniając koherentną metodę wymiany danych między różnymi jego elementami, w tym także centrum zarządzania ruchem. W komunikacji z bazą wykorzystuje się bezpośrednio strukturalny język zapytań (*Structured Query Language*, SQL) lub jeden z dodatkowych interfejsów opartych na usługach sieciowych (*Web*

and simultaneously enable the mode of return to the basic status (neutral from the point of view of traffic control) [8], restricting by manufacturers access to firmware and to internal soft-coded panels can be considered justified. As a result of such obvious striving to protect particular interests of the manufacturers of the equipment installed in Intelligent Transport Systems only partial knowledge on the supplied equipment and software is disclosed to the public. However, this undisclosed information may often be of critical importance for effective system integration.

Happily enough, the contractors with sufficient expertise and having access to the required documentation would quite probably carry out system integration with success, subject to correctly designed and implemented ITS commissioning procedure and sufficient amount of time allocated for identifying and correcting coding errors. Based on practical experience we can expect that the process of software customization verification and identification of areas of non-compatibility with other parts of the system may take up to twelve months. Obviously, this would require some preparatory activities, and this should be allowed for at the preceding phases: tendering, design, etc. To summarise: in dealing with Intelligent Transport Systems we can expect various problems, including:

1. technologies becoming quickly obsolete and incompatible,
2. latent defects due to insufficient testing,
3. limited access to the technical documentation at the system integration stage.

Such problems are typical for IT projects and, as such, they may be partly solved by using solutions from the field of IT systems engineering. For the above-mentioned cases these solutions include in the first place testing (case 2) and use of open, tested and standard system design options (case 3). The latter solution is typical of systems based on integrating relational database.

3. INTEGRATING RELATIONAL DATABASE (IDB)

The integrating relational database is intended to be the core of ITS with the function to ensure coherent exchange of data between the respective system components and also with the Traffic Management Centre. Communication with database may be effected directly – with the use of SQL (Structured Query Language), or indirectly – through one of auxiliary Web Services interfaces. The concept of breaking down the information to interrelated records

Services). Koncepcja podziału informacji na skojarzone rekordy wraz z matematycznym dowodem możliwości wykonania na takiej jej postaci podstawowych operacji przedstawiona została na początku lat 70 XX wieku [9], pierwsze działające systemy bazodanowe wykorzystujące ten model danych pojawiły się jednak dopiero dekadę później.

Jakkolwiek często przyjmuje się w uproszczeniu, że relacyjna baza danych to taka odmiana baz danych, w której przechowywane są zarówno same dane, jak i informacja o relacjach między nimi [10], w szerszym ujęciu relacyjna baza danych powinna spełniać wszystkie 13 postulatów przedstawionych przez twórcę koncepcji [11 - 12], w tym:

- wszystkie dane w bazie przechowywane są jako wartości w tabelach (postulat 1),
- baza musi wspierać język zapytań o określonych cechach (postulat 4).

Językiem zapytań dziś utożsamianym z relacyjnymi bazami danych jest SQL (*Structured Query Language*, SQL).

Początkowo popularność relacyjnego modelu bazy danych wynikała głównie z efektywności (zwłaszcza w porównaniu wcześniejszymi chronologicznymi modelami danych), intuicyjności zaproponowanego sposobu przechowywania danych (jednostki informacyjne definiowane są przez zestaw atrybutów, dane skojarzone przechowywane mogą być w odrębnych tabelach i mogą być powiązane ze sobą), możliwości zarządzania danymi, które można wykorzystać bez znajomości fizycznej struktury bazy i jej mechanizmów (dzięki językowi SQL). Obecnie dodatkowym atutem jest dojrzałość dostępnych rozwiązań (wiele z popularnych dzisiaj systemów zarządzania funkcjonuje na rynku od istotnie ponad 20 lat) oraz standaryzacja języka SQL (np. SQL 2003 opublikowany w [13] i późniejsze), która mimo istnienia różnych odmian języka pozwala na dużą migrację między systemami zarządzania bazami i uniknięcia przywiązania do jednego producenta (choć rozszerzenia języka proponowane przez producentów są wciąż regułą).

Nie bez znaczenia jest także szerokie wsparcie programistyczne: istnieją biblioteki programowe i platformy zapewniające automatyczne tworzenie odwzorowań między danymi w bazie a obiektami (ang. *object/relational mapping*), systemy zarządzania zapewniają bezpieczną komunikację dla swoich klientów oraz dostarczają odpowiednich interfejsów, sterowników itp. W efekcie relacyjne bazy spotyka się dziś w niemal każdym rodzaju oprogramowania użytkowego na platformach mobilnych, serwerach internetowych, komputerach domowych itp., a deklaracyjny język SQL kształtuje sposób myślenia o przetwarzaniu danych. Powszechność, dostępność i dojrzałość relacyjnych baz danych

accompanied by mathematical proof that some basic operations may be carried out on such database model dates back to early 1970s [9]. However, it took some years before the first database systems based on this concept appeared.

Although a relational database is often defined as a database variation which beside the data themselves contains also information on relations between these data [10] in a broader sense it should meet all 13 rules proposed by the originator of this concept [11 - 12], including the following two:

- all information in a relational database is represented as values in a table (rule 1),
- the database must support query language with certain characteristics (rule 4),

Currently SQL is the language commonly associated with relational databases.

The relational database model owes its initial popularity to efficiency (in particular when compared to the preceding models), intuitive data storage method (information units are defined by a set of attributes and interrelated data may be stored in separate tables while maintaining relation between them), data management capability allowing to use them without knowing the physical structure, or internal mechanisms of the database (owing to the use of SQL). Over the time the list of pros was expanded to include maturity of available systems (many of the popular systems were launched over 20 years ago) and SQL standardisation (for example SQL 2003 published in [13] and the next versions) owing to which, despite the existing variations it still allows extensive database migration between the database management systems and avoiding lock-in to one supplier although language extensions are still commonly proposed by the suppliers.

Last but not least, the importance of wide programmer's support – there are software libraries and platforms allowing automatic object – relational mapping (ORM) of database information and management system which ensures secure communication with clients and provide adequate interfaces, controllers, etc. Consequently, relational databases can be found in almost every type of application software used on mobile platforms, internet servers, PC's, etc. and SQL, a declarative query language, defines the way of approaching the problem of data processing. Wide use, availability, as well as maturity of relational databases are the main indications to propose using such database in the ITS design as an integrating tool available to different contractors and resistant to becoming obsolete.

są głównym motywem propozycji wykorzystania takiej bazy w systemie ITS, jako mechanizmu integrującego dostępnego dla różnych wykonawców a zarazem odpornego na starzenie.

4. ARCHITEKTURA SYSTEMU Z IDB

4.1. ELEMENTY SYSTEMU IDB

Współczesne systemy ITS składają się z różnego rodzaju urządzeń identyfikujących, pomiarowych czy sygnalizacyjnych. W systemie integracyjnej, relacyjnej bazy danych (IDB) wszystkie one komunikują się z bazą za pośrednictwem otwartego protokołu wykorzystując jeden z potencjalnie wielu udostępnionych do tego celu interfejsów. Jego obsługę od strony IDB zapewnia *aplikacja obsługi interfejsu* bazująca na usługach sieciowych (Web Services) i zdalnym wywołaniu [14] lub bezpośrednio serwer bazy danych za pośrednictwem zapytań SQL (typowo wywołanie procedur wbudowanych) Za obsługę protokołu po stronie urządzenia odpowiada *program agenta*: komunikuje się z jednej strony z urządzeniem wykorzystując jego protokół natywny (np. TLS 2010), z drugiej generując żądania do bazy IDB.

Pomocnicza baza danych zapewnia bieżące magazynowanie niezbędnych informacji tylko na potrzeby danego urządzenia i dostęp do niej nie jest obciążony nakładem związany z komunikacją IDB. Pokazano to na Rys. 3. Architektura taka (na poziomie wymiany danych) zgodna jest z zaleceniami Krajowego Systemu Zarządzania Ruchem Drogowym [15] (przykładowo usługi sieciowe mogą bezpośrednio obsługiwać DATEX II dostarczając zalecanego interfejsu).

Z punktu widzenia Integracyjnej Bazy danych urządzenia te można przypisać do jednej z następujących kategorii (Rys. 4):

- Źródła danych (ang. *Data Sources*, DS);

Kategoria ta obejmuje urządzenia, których głównym zadaniem jest dostarczanie aktualnych danych na temat parametrów środowiska, ruchu bądź jego warunków a także identyfikacja jego uczestników. Urządzenie DS w większości

4. IDB SYSTEM ARCHITECTURE

4.1. ELEMENTS OF THE IDB SYSTEM

The currently used ITS's consist of different identification, measurement and signalling devices and equipment. In the integrating relational database system all these devices and equipment communicate with the databases using open protocol and one of the several interfaces provided for such communication. On the IDB side the protocol is handled by Web Services – based *interface handler* and remote calls [14] or directly by the database server with SQL calls (typically utilising stored procedures). On the equipment side the protocol is handled by the *agent program*: it communicates in one direction with a device using for this purpose its native protocol (such as TLS 2010), generating IDB request in the other. The auxiliary databases provide storage for information needed by particular equipment and may be accessed without resources needed for communicating the IDB. This design is presented in Fig. 3. This architecture (at the data exchange level) is in compliance with the guidelines of the Polish national road traffic management system [15] (for example DATEX II may directly use Web Services to supply the recommended interface).

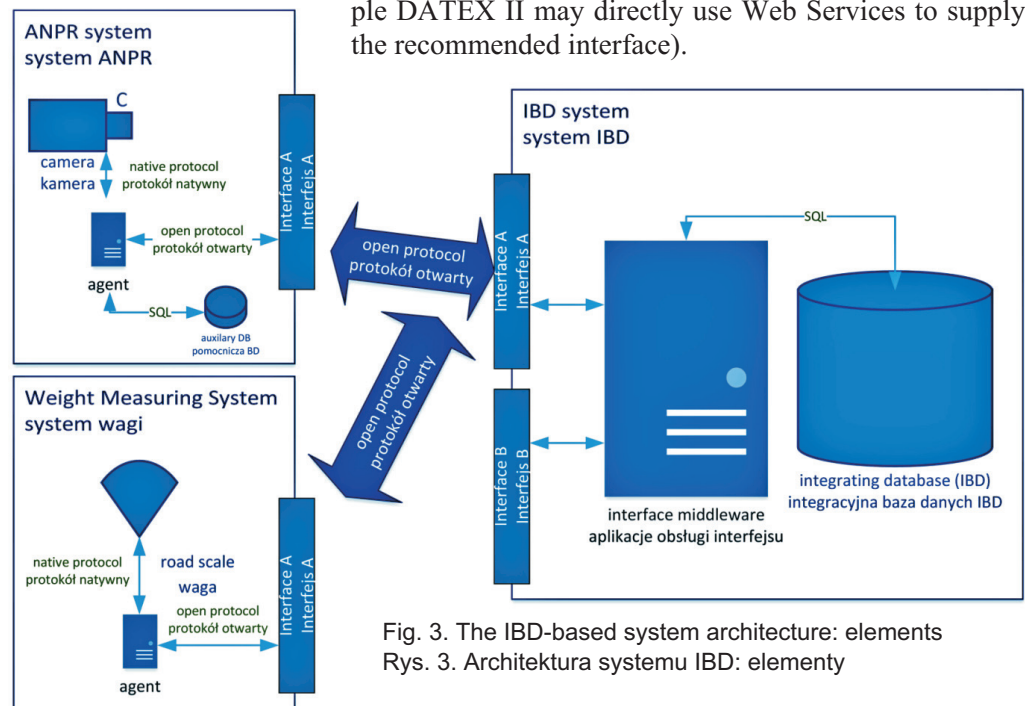


Fig. 3. The IDB-based system architecture: elements
Rys. 3. Architektura systemu IDB: elementy

From the point of view of the Integrating Database these devices may be classed as follows (Fig. 4):

- Data Sources (DS);

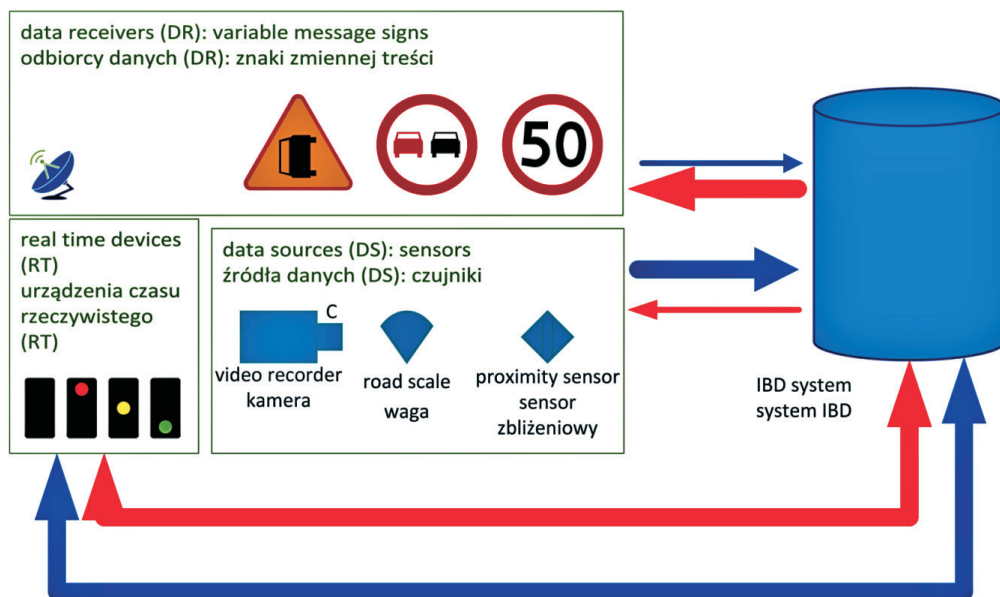
This class includes the devices which main function is to supply current information on the environmental conditions,

przypadków raz skonfigurowane może pracować bez przerwy realizując swoją podstawową funkcję aż do momentu rekonfiguracji. Do kategorii DS zaliczyć można m.in.: detektory pojazdów, kamery drogowe, kamery ANPR, wagi drogowe itp. Należy zauważyć, że ze względu na charakter pracy urządzenia DS rzadko wymagają do poprawnej pracy informacji zwrotnej od systemu ITS lub centrum sterowania ruchem: w przypadku braku komunikacji dane mogą być albo porzucone, albo buforowane i wysłane w późniejszym terminie a istotne są szczególnie dane bieżące.

traffic volume and situation and also road user identification. In most case the DS devices operate continuously after initial configuration fulfilling their main function until subsequent re-configuration.

Specifically this class includes vehicle detectors, traffic cameras, ANPR cameras, road scales, etc. Note that due to their specific function DS devices seldom require feedback information from the ITS or from the Traffic Management Centre: should communication fail, the data may be discarded, or buffered and sent at a later time as the most important is the current data.

Fig. 4. The IBD-based ITS system elements and data flow (red designates data sent up to devices, blue – sent by device; width is proportional to the amount of data
Rys. 4. Kategorie urządzeń systemu IBD (kolor czerwony oznacza dane wysyłane do urządzenia, niebieski - generowane przez urządzenie; grubość jest proporcjonalna do ilości danych



- Urządzenie sygnalizacyjne – odbiorcy danych (ang. *Data Receivers, DR*);

W skład tej kategorii wchodzi różnego rodzaju urządzenia informujące uczestników ruchu o warunkach lub sterujące nim: znaki zmiennej treści, systemy sygnalizatorów itp. Zgodnie z oczekiwaniami działanie DR uzależnione jest od informacji sterujących wysyłanych z centrów sterowania ruchem lub systemu ITS m.in.: komunikaty, parametry czasowe. Przyjęcie nowych danych przez urządzenia DR powinno być w większości przypadków potwierdzone na potrzeby systemu ITS, jednak charakter ich pracy nie wymaga synchronizacji na wyższym poziomie (system sygnalizatorów autonomicznie utrzymuje zaprogramowaną sekwencję, znaki zmiennej treści wyświetlają zmienione dane). Oczekiwana objętość danych generowanych przez DR jest mniejsza lub porównywalna z objętością danych otrzymywanych przez nie z systemu ITS.

- Signalling devices – Data Receivers (DR);

This class includes various devices used to provide information or control traffic, such as VMS, signals, etc. As it may be reasonably expected, operation of DR devices is controlled by the information received from the TMC's or ITS, such as messages or time parameters. Receiving new data by DR devices should, in most cases, be confirmed, as needed by the ITS. However, due to the nature of their operation, synchronisation at a higher level is not required (the traffic signals system maintains the programmed sequence autonomously and VMS display the changed data). The expected volume of DR output data is smaller or comparable with the volume of input data it receives from ITS.

- Real Time Devices (RT);

This class includes all the devices which for correct operation need two-way communication with ITS/TMC without any delay (additional coupled signals, automatic systems)

- Urządzenia czasu rzeczywistego (ang. *Real Time Devices*, RT);

Kategoria urządzeń czasu rzeczywistego obejmuje wszystkie urządzenia, których poprawne (płynne) funkcjonowanie uzależnione jest od dwustronnej bezzwłocznej komunikacji z systemem ITS/centrum sterowania ruchem (dodatkowe sprzężone sygnalizatory, systemy automatyczne) na poziomie pozwalającym zachować współbieżność zdarzeń (automatyczna synchronizacja, blokowanie zasobów w systemie itp.). Podział powyższy nie uwzględnia funkcjonowania warstwy diagnostycznej odpowiedzialnej za bieżącą weryfikację dostępności itp.

Funkcje poszczególnych elementów omówiono poniżej. Należy zauważyć, że w zaproponowanym rozwiązaniu, niezależnie od wybranego interfejsu, wszystkie wykorzystywane protokoły natywne (czy to w odbiorcach, czy źródłach danych) tłumaczone są jedynie na poziomie agentów urządzeń (w obrębie małych podsystemów odpowiedzialnych tylko za funkcjonowanie tych urządzeń).

4.2. IDB WRAZ Z PROGRAMEM OBSŁUGI INTERFEJSU

Centrala w proponowanej formie systemu ITS – baza danych IDB jest podstawowym elementem komunikacyjnym dla urządzeń składowych – elementów systemu. Dane generowane przez DS (np. czujniki, kamery) trafiają do bazy, skąd mogą być pobrane przez CZR, przetwarzane, analizowane itp. Także dane przygotowywane dla urządzeń DR (jak np. znaki o zmiennej treści) muszą być wpisane do bazy, aby mogły zostać odebrane przez urządzenia. Urządzenia RT wykorzystują określone tabele w celu wymiany informacji i synchronizacji pracy. Zarówno wybór wydajnego rozwiązania programowego (systemu zarządzania bazą danych) jak i prawidłowa konstrukcja bazy są tym samym krytyczne dla prawidłowego działania całości. Przemysłany interfejs usługi sieciowej (i związany z nim otwarty protokół) pozwalają natomiast na zachowanie niezawodności, bezpieczeństwa i wydajności a także rozwój systemu w miarę pojawiania się nowych, bardziej zaawansowanych technicznie urządzeń.

Baza danych IDB powinna zostać zaprojektowana zgodnie z zasadami przewidzianymi dla relacyjnych baz danych [16]. Tabele odpowiadać mogą, przykładowo, zidentyfikowanym w danym systemie kategoriom urządzeń (wagi, rejestratory, urządzenia monitorujące natężenie ruchu, kamery ANPR), wiersze kolejnym encjom (np. zidentyfikowane pojazdy), a kolumny – atrybutom (numer rejestracyjny, nacisk osi,

at a level enabling parallel occurrence of events (automatic synchronisation, blocking system resources, etc.). The above classification does not include the troubleshooting layer responsible for on-going verification of availability, etc.

The respective functions are described below. Note that in the proposed design, irrespectively of the chosen interface all the native protocols used (whether in DR or DS devices) are translated only at the device agents' level (within small subsystems with the function limited to operation of these devices).

4.2. IDB WITH INTERFACE HANDLER PROGRAM

In the proposed ITS design the IDB is the main component responsible for handling communication with the system components (devices). The output data generated by the DS devices (including sensors, cameras) are sent to the database, from where they can be retrieved by the TMC for subsequent processing, analysis, etc. Also the input data for DR devices (such as VMS) must be recorded in the database, in order to make them available to the input devices. The RT devices use specific tables for exchange of information and synchronising operations. Therefore, selection of appropriate software program (to manage the database) and a correctly designed database are both critical to obtain the desired performance of the system as a whole. A well-considered Web Services interface (and the associated open protocol) will on its part ensure reliability, security and efficiency, as well as enable an upgrade of the system to accommodate new, more technologically advanced devices.

The integrating relational database should be designed in compliance with the relational database rules [16]. The tables may, for example, correspond to classes of devices identified in the system (scales, recorders, traffic counters, ANPR cameras), rows to subsequent entities (such as identified vehicles) and columns to attributes (plate numbers, axle weight, recording date). Further optimisation should yield normal form database. The entity attribute units should be clearly defined in the documentation, or should be stored separately.

The IDB interface may be made accessible to other system components by interface handler (such as REST Web Service), or directly by the database stored procedures designated for this purpose (assuming that client side libraries of the database management system are used for establishing

data przejazdu). Dalsza optymalizacja doprowadzić powinna do postaci normalnej. Jednostki atrybutów encji powinny być określone jednoznacznie w dokumentacji lub być przechowywane indywidualnie.

Interfejs IBD dla pozostałych elementów systemu może być udostępniany przez program obsługi interfejsu (np. usługa sieciowa typu Web Service w modelu REST) lub bezpośrednio przez udostępnione do tego celu procedury wbudowane bazy (przy założeniu wykorzystania bibliotek dostępowych systemu zarządzania bazą do nawiązania komunikacji). Rozwiązanie takie pozwala na zachowanie bezpieczeństwa (oba mechanizmy umożliwiają wykorzystanie usług bezpieczeństwa takich jak autoryzacja czy szyfrowanie), spójności danych oraz stopniowy rozwój systemu i dostosowanie do nowych realiów technologicznych czy to poprzez modyfikację programu obsługi, czy struktury bazy i – w konsekwencji – udostępnienie nowych wersji interfejsu dla klientów.

Na poziomie programu obsługi interfejsu przeprowadzona może być detekcja i eliminacja powtórzeń dla danych generowanych i odbieranych głównie od urządzeń typu DS. Zadanie to może być też realizowane dzięki mechanizmom wbudowanym w samą strukturę bazy (procedury walidujące, ograniczenia danych itp.). Dane dla urządzeń DR mogą być udostępniane w trakcie aktywnego odpytywania (ang. *poll*) bądź poprzez generowanie i rozsyłanie informacji o wystąpieniu zdarzeń (np. wykorzystanie mechanizmu wyzwalacza (ang. *trigger*) bazy danych lub bezpośrednio poprzez analizę danych na poziomie programu obsługi interfejsu).

Urządzenia RT również wykorzystywać mogą aktywne odpytywanie lub bazować na generowanych przez bazę/program obsługi interfejsu – zdarzeniach. Należy tu stwierdzić, że jakkolwiek wprowadzenie dodatkowej warstwy pośredniczącej odpowiedzialnej za obsługę interfejsu może być traktowane, jako niepotrzebne, wobec możliwości bezpośredniego wykonywania zapytań do bazy, rozwiązanie takie posiada wiele zalet:

1. Możliwa jest komunikacja między urządzeniami a systemem bazy z wykorzystaniem jednego z powszechnie uznanych protokołów (np. zalecanego w dokumencie [15] protokołu DATEX II) i zachowanie zgodne z zaleceniami Krajowego Systemu Zarządzania Ruchem Drogowym.

2. Zachowanie kompatybilności także w przypadku modyfikacji schematu danych a braku możliwości aktualizacji urządzenia lub jego agenta. Procedury lub oprogramowanie warstwy pośredniej tworzące interfejs wykorzystywany przez starsze (stale sprawne) urządzenia mogą dostosować postać danych odebranych od agenta do postaci wymaganej przez aktualną wersję.

communication). This systems ensures security of communication (both these mechanisms allow using of security tools, such as authorisation or encryption), consistency of data and progressive system development to match new technological developments, as well as modification of the interface handler or database structure and, as a result, providing access to new client interface versions.

At the interface handler program level repetitions of the DS output data may be detected and eliminated. This is possible owing to the mechanisms embedded in the database structure (validation procedures, data constraints, etc.). The DR input data may be polled from the database or made accessible by generating and disseminating event information (for example by using database trigger mechanism, or directly by analysing the data at the interface handler program level).

Moreover, devices may poll the database, or use events generated by the database/ interface handler program. It is worthwhile to note that with direct database querying option introducing any additional intermediate layer responsible for managing the interface might be considered unnecessary. However, this system has many advantages i.e.:

1. It supports communication between the devices and the database system using one of the generally recognised protocols (such as DATEX II protocol, which is recommended in paper [15]) and is in compliance with the guidelines of the Polish national traffic management system.

2. Allows to maintain compatibility also when the data scheme is modified and updating the device or its agent is not practicable. The procedures, or software of the intermediate layer making up the interface used by older (and still fully operational) devices may convert the form of data received from agent to the form required by the current version.

3. Development of an extended/ improved interface for devices with new capabilities.

4. The database hardware platform update, improving the database scheme, etc. may be carried out without losing interface handler program compatibility.

5. The system quality may be maintained by planning the life cycles of interfaces, testing, etc.

6. Polling IDB by DR devices and RT systems may be eliminated: the interface handler program may analyse the incoming data as they are delivered and verify the event occurrence conditions and generate the necessary notifications.

3. Utworzenie rozszerzonego/ulepszonego interfejsu dla urządzeń o nowych możliwościach.
 4. Zmiany platformy sprzętowej samej bazy, poprawy schematu danych itp. są możliwe przy zachowaniu zgodności programu obsługi interfejsu.
 5. Możliwe jest utrzymanie, jakości systemu poprzez planowanie cyklu życia interfejsów, testowanie itp.
 6. Możliwe jest wyeliminowanie aktywnego odpytywania IBD przez odbiorców danych oraz systemy czasu rzeczywistego: program obsługi interfejsu może na bieżąco analizować nadchodzące dane i weryfikować warunki wymagane do wystąpienia zdarzenia oraz generować konieczne notyfikacje.
 7. Możliwe jest efektywne zarządzanie danymi obrazowymi/wideo z kamer: dzięki programowi obsługi interfejsu dane video mogą być zapisywane poza bazą, a jedynie ich lokalizacja być przechowywana w bazie.
- Spójność w danych przechowywanych w bazie umożliwia ich bezpośredni eksport do hurtowni danych czy automatyczne przetwarzanie.

4.3. PROGRAM AGENTA URZĄDZENIA

Program agenta urządzenia odpowiedzialny jest pośredniczenie w komunikacji między urządzeniem a systemem bazy IBD (i obsługę interfejsu IBD). Oznacza to, że agent z jednej strony komunikuje się z urządzeniem wykorzystując protokół natywny (odpytuje, konfiguruje), z drugiej generuje odpowiednie żądania do systemu IBD w celu wpisania danych do bazy lub aktywnego odpytania (wykrycie nowych danych dla urządzeń DR i RT). Na poziomie agenta dokonywane powinno być ujednoclenie formatu, jednostek itp. do postaci oczekiwanej przez IBD i odpowiednie wywołanie (np. SOAP [17], jeżeli wykorzystywany jest zgodny z taką formą wywołań interfejs IBD). W przypadku, gdy interfejs IBD udostępnia obsługę zdarzeń poprzez generowanie powiadomień, zadaniem agenta jest także odbiór i potwierdzenie tych powiadomień. Pozwala to zredukować czas i zasoby konieczne na aktywne odpytywanie IBD.

Program agenta urządzenia dostarczony może być bądź przez producenta, bądź dostawcę (alternatywnie inny podmiot dysponujący wiedzą o protokole natywnym urządzenia) względnie opracowany na podstawie dokumentacji przez dostawcę IBD.

7. It enables effective management of camera image data, both still and video: with the interface handler program, the video data may be stored externally with the storage location stored in the database.

The consistency of data stored in the database enables exporting them directly to the data warehouse, as well as automatic processing.

4.3. DEVICE AGENT SOFTWARE

The device agent software is responsible for the communication between the device and IBD (and it operates the IBD interface). This means that the agent, on the one side, communicates with the device using the native protocol (queries, configurations) and on the other side it generates appropriate IBD requests in order to insert the data into, or pull them from the database (detection of new data for the DR and the RT devices). Tasks to be performed at the agent level include unification of format, units, etc. to the form expected by the IBD and adequate query (for example SOAP [17] if supported by IBD interface). If the IBD interface provides handling of events by generating notifications, the agent's scope is extended to include receiving and confirming these notifications. This enables reduction of time and resources necessary for IBD polling operation.

The device agent program may be supplied by the manufacturer, or supplier (or other company having knowledge about the device native protocol), or developed on the basis of documentation by the IBD supplier.

5. RESULTS AND ANALYSIS OF THE PROPOSED SYSTEM

5.1. GENERAL REMARKS

The system using central integrating database (IBD) was used with success in already implemented intelligent transport systems, for example in the urban agglomeration in northern Poland. The system flow chart showing the flow of data is presented in Fig. 5. In compliance with the general guidelines, the sub-systems communicate via the IBD and each component may have an auxiliary production database used for carrying out the basic functions.

The architecture presented in Fig. 3 has been used for communication, yet in simpler form, without a dedicated interface handler program (this function is carried out by the stored procedures in the database). The following rules of communication have been adopted:

5. WYNIKI I Dyskusja Rozwiązania

5.1. UWAGI OGOLNE

Rozwiązanie z centralną bazą danych IBD zostało z powodzeniem zastosowane w przypadku zintegrowanego systemu sterowania ruchem wdrożonego m.in. w aglomeracji północnej części Polski. Ideowy schemat systemu z punktu widzenia przepływu danych przedstawiono na Rys. 5. Zgodnie z ogólnymi wytycznymi cała komunikacja między podsystemami w systemie realizowana jest za pośrednictwem IBD, a każdy z elementów może dysponować także pomocniczą (produkcyjną) bazą danych pozwalającą realizować podstawowe funkcje.

Do komunikacji wykorzystano uproszczoną (w stosunku do przedstawionej na Rys. 3) architekturę bez dedykowanego programu obsługi interfejsu (rolę tę pełnią procedury wbudowane bazy danych). Przyjęto następujące zasady komunikacji:

1. Każde urządzenie przypisane jest do jednej z klas odpowiednio do swojej funkcji i korzysta z odpowiedniej tabeli wymiany danych.

2. Odbiorcy danych (poprzez programy agentów) aktywnie odpytują bazę w celu wykrycia nowych danych. Dla komunikacji „sterowanej zdarzeniami” sprawdzanie będzie wykonywane, co 0,5 sekundy, natomiast dla komunikacji cyklicznej w rytmie ustalonym dla danego urządzenia (wartość z zakresu 5 s - 300 s).

3. Nowe dane wykrywane są z wykorzystaniem monotonicznych sekwencji identyfikatorów rekordów, których niepowtarzalność i unikalność wymuszana jest przez mechanizmy bazy. Nie ma możliwości zmiany rekordów raz umieszczonych w bazie (w ten sposób możliwa jest prosta weryfikacja, czy nowe dane powinny zostać przetworzone przez agenta urządzenia).

4. Tabela aktywności zawiera dodatkowe informacje na temat funkcjonowania urządzeń: każde urządzenie cyklicznie, (co 5s) raportuje swój stan do bazy.

5. Pomiary mogą być także wykorzystywane poza systemami urządzeń (przez różnego rodzaju aplikacje sterowania ruchem).

Określając czasy przyjęto przy tym założenia o maksymalnym natężeniu ruchu na poziomie jednego pojazdu na pas ruchu na sekundę, co przekłada się bezpośrednio na maksymalną liczbę rekordów dostarczonych przez systemy detekcji, pozwala oszacować liczbę pojazdów, dla których wyświetlane mogą być nieprawidłowo przestarzałe dane w znakach zmiennej treści itp.

1. Each and any device is classified in one of the pre-defined classes according to its function and uses appropriate data exchange table.

2. The DR devices poll the database for new data (through agent programs). For the event controlled communication queries will be done in 0.5 sec. intervals and for cyclic communication - according to the intervals defined specifically for the device (in 5-300 sec. range).

3. New data are detected using sequences of monotonically increasing record identifiers which uniqueness is enforced by the database mechanisms. It is not possible to modify records inserted in the database (this allows a simple verification whether new data should be processed by the device agent).

4. The activity table contains additional information on functioning of equipment – every 5 seconds each device reports to the database its operating status.

5. Measurements can be carried out also externally – by various traffic control applications.

The times has been defied by assuming the maximum traffic volume of one vehicle per lane per second. This value determines the maximum number of records supplied by the detections systems and allows to estimate the number of vehicles which could be presented with VMS displaying incorrect i.e. not up-to-date information, etc.

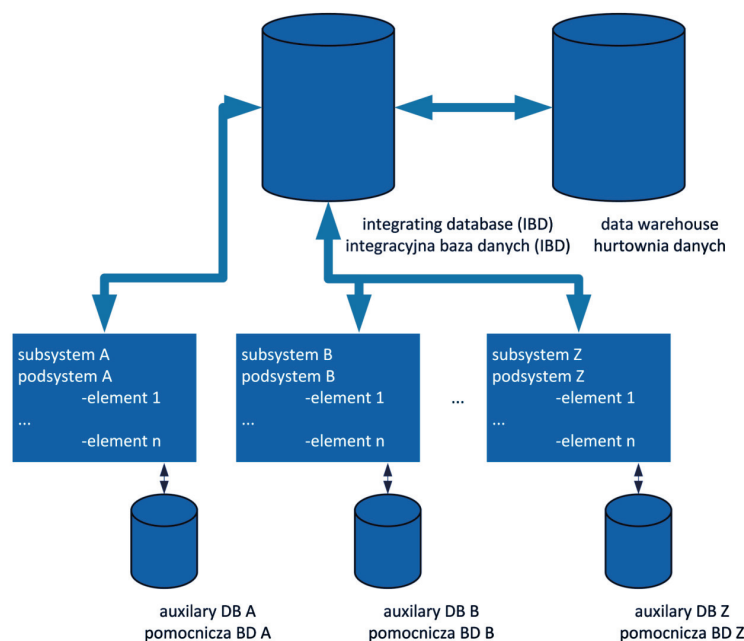


Fig. 5. Data flow in exemplary IBD-based ITS system
Rys. 5. Schemat przepływu danych w przedstawianym systemie z IBD

5.2. TABELE WYMIANY DANYCH

Każde urządzenie stanowiące źródło danych w systemie przypisane jest do jednej z klas zgodnie z założeniem, że podobne funkcjonalnie urządzenia dostarczać będą podobnych (możliwych do standaryzacji) danych. Podobnie rozwiązano wymianę z urządzeniami – odbiorcami danych. W opisywanym systemie osobne tabele zdefiniowano dla (lista może zostać rozszerzona wraz z pojawieniem się nowych rodzajów urządzeń):

1. Stacji pomiaru natężenia ruchu,
2. Znaków zmiennej treści,
3. Systemów parkingowych,
4. Kamer ANPR,
5. Stacji meteorologicznych,
6. Danych o ruchu,
7. Tablic dynamicznych informacji parkingowej.

Każdej klasie urządzeń w systemie IBD odpowiada tabela wymiany danych o strukturze rekordu odpowiedniej dla danego rodzaju urządzenia. Przykładowo dla danych ze stacji monitorujących natężenie ruchu przewidziano rekord danych przedstawiony w Tabl. 1.

Table 1. Traffic controls station data record

Tablica 1. Struktura rekordu tabeli wymiany danych dla stacji pomiaru natężenia ruchu

Column name Nazwa kolumny	Description / Opis
Stationed	Unique station ID / Unikalny identyfikator stacji
typeOfEvent	Type of traffic event / Typ zdarzenia
timeOfEvent	Time of traffic event / Czas zdarzenia
typeOfVehicle	Type of Vehicle / Rodzaj pojazdu
timeOnControlPoint	Total time spent on the control point / Całkowity czas w obrębie punktu kontrolnego
currentSpeed	Registered vehicle speed / Zarejestrowana szybkość pojazdu
Direction	Direction of move / Kierunek ruchu
estDistance	Estimated distance from the previous control point / Szacowana odległość od poprzedniego punktu kontrolnego
estSpeed	Estimated speed between control points / Szacowana szybkość między punktami kontrolnymi

Dane wysyłane przez urządzenia do bazy ze stacji umieszczone są w kolejnych wierszach tabeli. Pełna informacja zakodowana jest (poprzez pola takie jak: *stationID*, *typeOfEvent*) w tabelach powiązanych relacjami. Model danych dla informacji ze stacji monitorujących natężenie ruchu pokazano na Rys. 6. Programy agentów urządzeń opracowane zostały przez jednostkę odpowiedzialną za całość systemu – agenci uruchomieni są na komputerach przemysłowych połączonych bezpośrednio z urządzeniami i wykorzystującymi te same, co urządzenia źródła zasilania).

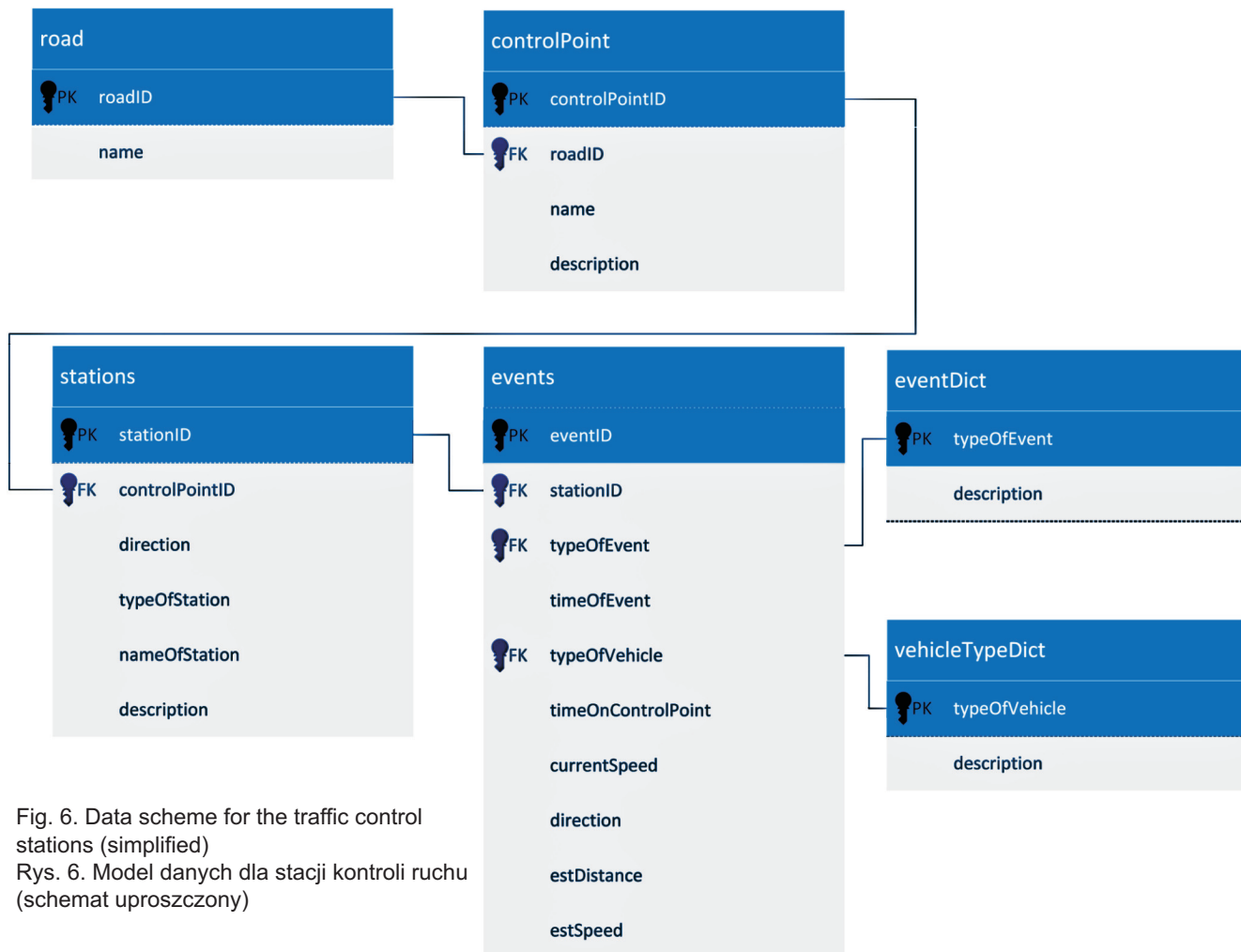
5.2. DATA EXCHANGE TABLES

Each DS device of the system is classified in one of the pre-defined classes, assuming that functionally similar devices will supply similar data (allowing standardisation). The same scheme is applied for exchange of data with DR devices. Below are the output data sources for which separate tables are defined in the system (to be expanded when new classes of devices appear):

1. Traffic control stations,
2. Variable message signs,
3. Car park management systems,
4. ANPR cameras,
5. Weather stations,
6. Traffic data,
7. Dynamic parking signs.

Each class of devices is assigned in the IDB system to a separate data exchange table with the record structure appropriate to the nature of the device. As an example, the structure of record for the traffic control station is presented in Table 1.

The data are inserted in the subsequent rows as they are received from the station devices. The complete information is coded in related tables (using boxes such as *stationID*, *typeOfEvent*). The data model for information received from the traffic counting station is presented in Fig. 6. The device agent programs were developed by the contractor responsible for the entire system – the agents operate on industrial computers directly connected to the devices and supplied with electricity from the same source.



5.3. DOSTARCZANIE I ODCZYTYWANIE DANYCH

Funkcjonowanie agentów urzędów (częstotliwość sprawdzania danych przez odbiorców i raportowania przez źródła danych), a także uprawnienia do danych określone są na poziomie:

1. Klasy urządzeń i tabel wymiany danych: (KTO ma dostęp do danych), JAKIE urządzenia mogą uaktualniać poszczególne tabele.
2. Kierunku przepływu: JAK CZĘSTO dane są czytane i JAK CZĘSTO uaktualniane. Przykładowa macierz definiująca zachowanie elementów systemu pokazana została w Tabl. 2.

5.4. KOMUNIKACJA

Konfiguracja sprzętowa rozwiązania pozwala ograniczyć opóźnienia w komunikacji do nakładu związanego z analizą

5.3 SUPPLYING AND READING THE DATA

The agents' operating parameters i.e. querying and reporting intervals of DR and DS devices respectively and access authority settings are set at the following levels:

1. Device classes and data exchange tables: (WHO can access the data), WHAT devices are authorised to update the contents of the respective tables.
2. Data flow direction: HOW OFTEN are the data retrieved and HOW OFTEN are they updated. An example matrix defining the behaviour of the system components is presented in Table 2.

5.4. COMMUNICATION

The hardware configuration of the proposed system allows limiting the delay to the protocol processing time (leaving aside inherent delays resulting from limited speed of electromagnetic waves propagation). Security measures are

protokołów (pomijając immanentne opóźnienia związanym chociażby z ograniczoną prędkością rozchodzenia się fal elektromagnetycznych). Bezpieczeństwo systemu zapewniają mechanizmy wykorzystane na wielu poziomach. Urządzenia i baza znajdują się w izolowanej sieci prywatnej IPv4. Komunikacja między urządzeniami i bazą jest zabezpieczona dzięki wykorzystaniu protokołu TLS/SSL. Dostęp do bazy wymaga przesłania przez agenta urządzenia odpowiednich poświadczeń (nazwy użytkownika i hasła).

applied at different levels of the system. The hardware and the database are running in IPv4 isolated private network. Device/database communication is secured by using TLS/SSL protocol. In order to gain access to the database, the device agent is requested to provide authentication information (user name and password).

Table 2. Database read/write access mode and data access rights (fragment)

Tabela 2. Macierz definiująca sposób uaktualniania i odczytywania bazy oraz uprawnienia (fragment)

Information Informacja	Vendor/Device/System Dostawca/Urządzenie/System	Read mode Odczyt	Write mode Zapis
Table/Tablica: ANPR			
Travel time / Czas przejazdu	ANPR camera / kamera ANPR	–	each / co 5 s
	Subsystem supplier / Dostawca podsystemu	each / co 60 s	–
	Traffic control system / Centrum zarządzania ruchem	each / co 60 s	–
Camera status / Status kamery	ANPR camera / kamera ANPR	–	each / co 5 s
	Subsystem supplier / Dostawca podsystemu	each / co 60 s	–
	Traffic control system / Centrum zarządzania ruchem	each / co 60 s	–
Table / Tablica: Traffic control stations			
Traffic data / Dane o ruchu	Traffic control station / Stacja kontroli natężenia ruchu	–	each / co 15 s
	Subsystem supplier / Dostawca podsystemu	each / co 30 s	–
	Traffic control system / Centrum zarządzania ruchem	each / co 30 s	–
	Visualization subsystem / Podsystem wizualizacji	each / co 30 s	–

5.5. DYSKUSJA

Mimo uproszczonej struktury (brak obsługi dedykowanego interfejsu) systemów w eksploatacji nie zauważono problemów z wydajnością. Wizualizacja danych na potrzeby centrum zarządzania ruchem nie obciąża istotnie IBD. Bez użycia niestandardowych mechanizmów możliwy jest bezpośredni import do hurtowni danych i dalsze przetwarzanie.

Przyjęte w systemie ograniczenia czasowe (przykładowo komunikacja cykliczna; co 5-300 s) sprawiają, że realizacja zleceń typowych dla urządzeń przydrożnych (DS/DR): uzupełnienia tabeli o rekord statusu urządzenia lub odczyt umieszczonego tam polecenia może być realizowana w odniesieniu do ruchu drogowego w czasie zanedbywalnym dla poprawnego działania. Wynika to z faktu, że w procesie decyzyjnym pozwalającym przesłać informacje użytkownikowi (kierującemu), mimo dosyć szerokiej automatyzacji tych procesów (np. algorytmy objazdów), wciąż krytycznym elementem łańcucha jest człowiek, który ostatecznie decyduje o przesłaniu informacji do urządzenia. Skrócenie czasów odczytu zleceń (komend/powiadomień) przez

5.5. DISCUSSION

Despite the simplified structure (skipping operation of a dedicated interface) no performance problems were noted in the systems in service. The load related to visual display of the data as needed by the Traffic Management Centre is not significant from the IDB point of view. The system enables a direct import of data to the data warehouse and further processing of the data without the need for non-typical tools.

With the system time settings (such as 5-300 s communication cycles) the time necessary to perform typical tasks of roadside equipment (DS/DR devices), such as inserting in the table device status information, or reading the commands contained therein becomes ignorable from the point of view of system operation. This is due to the fact that in the decision-making process, in which sending of information to device is done by the user (operator), even with the high degree of automation of these processes (such as detour algorithms), the human being is still the critical part of the system. Thus reducing the time needed

urządzenie poniżej 1 sekundy nie wpłynie tym samym w istotny sposób na średnią szybkość reakcji od zdarzenia do przesłania powiadomień. Jednocześnie należy zauważyć jednak, że przy takich założeniach dalsza rozbudowa systemów o urządzenia RT, mogłaby być kłopotliwa. Synchronizacja urządzeń za pośrednictwem bazy w procesie w pełni zautomatyzowanym i wymagającym sekwencji komunikatów powinna się odbywać relatywnie często (częściej, niż minimalnie stosowany aktualnie czas 0,5 s). Oznacza to, że w praktyce, przy rezygnacji z dodatkowych interfejsów, systemy te powinny działać autonomicznie (ewentualnie w oparciu o pomocniczą bazę danych) jedynie raportując swój stan lub pobierając dane z IBD, czyli stanowiąc z punktu widzenia IBD urządzenia DS/DR.

6. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono koncepcję systemu ITS opartego o integracyjną, relacyjną bazę danych (IBD). Zadaniem IBD jest przechowywanie spójnych informacji generowanych przez urządzenia ITS takie jak kamery ANPR, wagi, stacje meteorologiczne itp., przechowywanie danych konfiguracyjnych dla znaków zmiennej treści, parametrów dla systemów sygnalizatorów, a także synchronizacja urządzeń wymagających aktywnej komunikacji. Funkcje te realizowane są dzięki wykorzystaniu różnych programów pomocniczych: agentów urządzeń, programów obsługi interfejsu itp. Po omówieniu elementów systemu i ich roli przedstawiono przykład realizacji wykorzystujących IBD. Pokazano, w jaki sposób IBD łączy elementy systemu i przedstawiono dyskusję tego rozwiązania.

Podsumowując można stwierdzić, że rozwiązanie bazujące na integracyjnej, relacyjnej bazie danych posiada szereg zalet:

1. Powszechnie stosowany model danych i język komunikacji wynikające z faktu wykorzystania relacyjnej bazy danych są intuicyjne zarówno dla konstruktorów informatycznej części centrum zarządzania ruchem, podsystemów urządzeń przydrożnych jak i systemów peryferyjnych – ewentualnych odbiorców informacji.
2. Unika się przywiązania do rozwiązań właściwych tylko pojedynczym producentom przyspieszając cykl wdrożenia. Dzięki IBD wykonawca może użyć urządzeń spełniających normy europejskie (normy szczegółowo opisują parametry, funkcjonalność z punktu widzenia pełnionych funkcji (celu), ale nie definiują standardów protokołów komunikacyjnych). Takie podejście ma wpływ na obniżenie kosztów implementacji systemów ITS biorąc pod uwagę koszty instalacji, utrzymania i eksploatacji.

to process the commands/messages by the device to less than one second will not have any significant effect on the average response time measured from the occurrence of event to the point of dispatch. However, note must be made that with these assumption it may be quite difficult to expand the system with the RT devices. Synchronising devices through the database in a fully automated process requiring sequencing of messages should be carried out in relatively small intervals (shorter than the currently applied minimum time of 0.5 s) In practice this means that without auxiliary interfaces these systems should operate autonomously (optionally with the assistance of auxiliary database) with exchange of information limited to status reports and retrieving IDB data, thus having the role of the DS/DR devices (from IDB point of view).

6. CONCLUSIONS

This article presents a concept of the ITS based on integrating relational database (IDB). It presents the system components, including their functions and then the already implemented IDB based systems are presented. The way in which IDB links the system components was described, followed by discussion of such scheme.

This analysis enabled us to determine the following advantages of the IDB-based systems:

1. Relational database imposes use of generally known data model and communication language, which are intuitive for the engineers developing the IT part of the TMC, roadside equipment sub-systems and peripheral systems – potential receivers of information.
2. Locking-in to proprietary solutions is avoided, which speeds up the implementation cycle. The IDB enables the contractor to use equipment in compliance with EU standards, which while providing detailed specification of parameters and functionality from the point of view of the function (purpose) do not give the standards for communications protocols. This approach enables the cost reduction of the ITS systems implementation, including the cost of installation, maintenance and operation.
3. The databases provide extensive access control schemes. Each user (visual display module, sub-system, data receiver) has a pre-defined set of authorities, which can be expanded at the level of interface handler program. The database may be protected in this way in multiple access systems.
4. The systems operating relational databases may operate on very simple hardware platforms, even on single board computers with processors such as the ARM5

3. Bazy danych oferują rozbudowane możliwości zarządzania dostępem. Każdy użytkownik (moduł wizualizacji, podsystem, odbiorca danych) posiada swój zdefiniowany zestaw uprawnień, który może być dodatkowo rozbudowany na poziomie programu obsługi interfejsu. Baza danych może być w ten sposób chroniona w systemach wielodostępowych.
4. Systemy zarządzające relacyjnych baz danych mogą być uruchamiane już na bardzo prostych platformach sprzętowych – w szczególności nawet na komputerach jednopłytkowych np. z procesorem ARM5 bez wprowadzenia dużych opóźnień dla prostych operacji. Oznacza to, że integracyjną bazę danych, jako centralną część systemu komunikacji można wykorzystać także w systemach/podsystemach małych i „tanich”.
5. W rozbudowanych systemach istnieją duże możliwości optymalizacji wydajności zapewniane przez oprogramowanie. Na poziomie systemu zarządzającego bazą danych istnieje wiele możliwości zapewnienia nadmiarowości czy dostępności.
6. W razie potrzeby istnieje możliwość obsługi wielu interfejsów dla różnych interesariuszy oraz swobodnego dysponowania konfiguracją urządzeń przydrożnych różnych producentów z dopuszczalnym błędem ograniczonym do jednego zadania bądź jego części.

Potencjalną wadą systemów z IBD jest głównie ograniczona użyteczność dla urządzeń wymagających automatycznej synchronizacji w czasie rzeczywistym ze względu na potencjalne kumulowanie się niewielkich opóźnień w komunikacji z systemem bazy. Innego rodzaju problemy mogą wynikać również z logicznej – gwiazdziej architektury systemu (zmniejszona odporność na awarie komunikacji z IBD itp.). Należy zauważyć, że przygotowanie odpowiedniego schematu danych jak i konfiguracja systemu zarządzającego są krytycznym elementem projektowania. Potrzebna do tego wiedza ekspercka jest podobna, jak w innych obszarach zastosowań baz danych.

BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/40/UE z dnia 7 lipca 2010 r. w sprawie ram wdrażania inteligentnych systemów transportowych w obszarze transportu drogowego oraz interfejsów z innymi rodzajami transportu. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 207/1
- [2] *Krukowski P., Litwin M., Olszewski P., Suchorzewski W.*: Założenie Systemu Zarządzania Ruchem na Drogach Krajowych, Warszawa, 9.11.2007
http://www.kszr.gddkia.gov.pl/images/Do_Pobrania/ZALOZENIA_SYSTEMU_ZARZADZANIA_RUCHEM_NA_DROGACH_KRAJOWYCH.pdf, 1.10.2014

without any significant delays in processing simple operations. This means that the integrating database may be used as the core of communication system also in small and inexpensive (sub-) systems.

5. In extensive systems the performance may be largely improved with the options available at the software level. At the database management system there are many options to obtain redundancy or define accessibility.
6. Operation of many interfaces for different interested parties is possible. There is a freedom of configuration of roadside equipment from different manufacturers with the admissible error limited to one task or its part.

A potential weak points of the IDB-based systems are the limitations in operation with devices requiring automatic, real-time synchronisation, due to potential accumulation of small delays in communication with the database system. Some problems, of a different type, may also result from the logical system architecture based on star topology (due to lower resistance to IDB communication failures, etc.).

It is important to note that developing an appropriate data scheme and appropriate operating system configuration are the critical elements of the design process. The expertise needed for that is similar as in other database application areas.

- [3] Założenia systemu zarządzania ruchem na drogach krajowych - SZREK. 2014,
<http://www.kszr.gddkia.gov.pl/index.php/pl/do-pobrania/opracowania>, 1.10.2014
- [4] Standard ETSI: European Telecommunications Standards Institute: Intelligent Transport Systems (ITS), Vehicular Communications, GeoNetworking, Part 3: Network architecture. ETSI TS 102 636-3 V1.1.1 (2010-03)
- [5] *Williams B.*: Intelligent Transport Systems Standards. Artech House Publishers, London, 2008
- [6] *Kulovits H., Stögerer Ch., Kastner W.*: System Architecture for Variable Message Signs, System architecture for variable message signs. Proc. 10th IEEE Intl. Conf. on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'05), 2, 2005, 903-909
- [7] *Sommerville I.*: Inżynieria oprogramowania. WNT, Warszawa, 2003
- [8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach. Dz.U. 2003 nr 220, poz. 2181

-
- [9] *Codd E.F.*: A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. *Communications of the ACM*, **13**, 6, 1970, 377-387
- [10] *Awad E.M.*: *Systems Analysis and Design*, Sec. Ed., Richard D. Irwin, Inc., Homewood, 1985
- [11] *Codd E.F.*: Is Your DBMS Really Relational? *Computerworld*, Oct. 14th, 1985
- [12] *Codd E.F.*: Does Your DBMS Run By The Rules? *Computerworld*, Oct. 21st, 1985
- [13] Standard SQL:2003. ISO/IEC 9075(1-4,9-11,13,14):2003
- [14] *Tanenbaum A.S., Steen M.*: *Systemy rozproszone: Zasady i paradygmaty*. WNT, Warszawa, 2006
- [15] *Mikulski J.*: *Standardy protokołów transmisji danych dla systemu zarządzania ruchem*. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, 2012, http://www.kszr.gddkia.gov.pl/images/Opracowania/5.Standard_protoko%C5%82%C3%B3w.pdf, 1.10.2014
- [16] *Mendrala D., Szeliga M.*: *SQL Praktyczny kurs*. Helion, Gliwice, 2011
- [17] Standard W3: Simple Object Access Protocol, 1.2.2007, <http://www.w3.org/TR/soap>, 1.10.2014