

Mirosław SIERGIEJCZYK, Adam ROSIŃSKI
Politechnika Warszawska

OCENA BEZPIECZEŃSTWA CENTRUM ZARZĄDZANIA SYSTEMAMI TELEMATYKI

Słowa kluczowe

Niezawodność, telematyka, monitorowanie.

Streszczenie

Teoria niezawodności systemów ma szczególne zastosowanie w systemach telematyki transportu, które z uwagi na specyficzny charakter ich zastosowania powinny cechować się wysokim poziomem niezawodności. Stosowane w tych systemach w szerokim zakresie urządzenia i elementy elektroniczne, zwłaszcza systemy mikroprocesorowe, wywołują potrzebę nowego spojrzenia na niezawodność i bezpieczeństwo tych systemów. W referacie zaprezentowano metodologię oceny bezpieczeństwa centrum zarządzania systemami telematyki.

Wprowadzenie

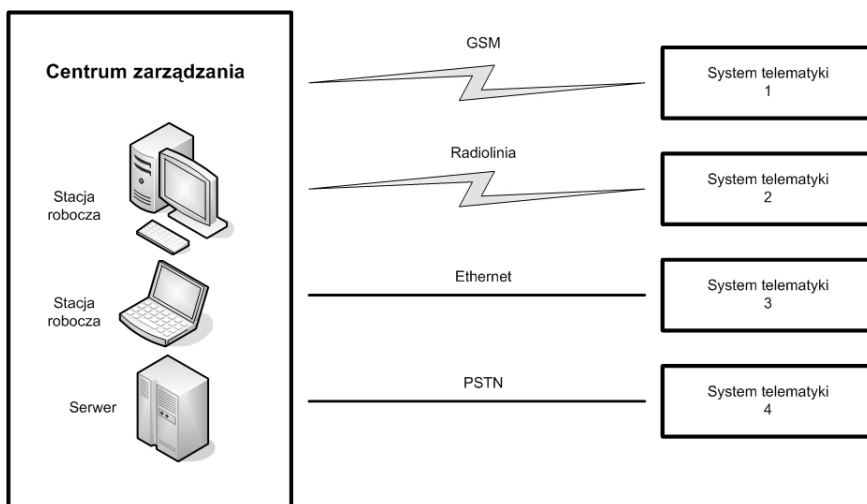
Jedną z najistotniejszych własności systemów telematyki jest przekazywanie i transmisja informacji pomiędzy urządzeniami go tworzącymi [7]. Przepływ informacji telematycznych jest związany bezpośrednio z telekomunikacją, czyli przekazywaniem wiadomości na odległość za pośrednictwem różnego typu sygnałów (obecnie najczęściej sygnałów elektrycznych lub optycznych). Droga połączeniowa między dwoma urządzeniami sieciowymi określana jest mianem toru teletransmisyjnego, który najczęściej ma postać przewodową (symetryczną, koncentryczną), światłowodową lub radiową [8].

System telematyki współdziała w interakcji z wieloma innymi systemami oraz otoczeniem zewnętrznym i może zawierać w sobie wiele podsystemów składowych [9,10]. Dla zapewnienia realizacji przepływu danych stosuje się różne typy mediów transmisyjnych. Dzięki nim możliwe jest przesłanie informacji. Media transmisyjne wykorzystywane są zarówno w celu zapewnienia szybkiej i niezawodnej komunikacji z rozległymi systemami, wymagającymi transmisji olbrzymich ilości danych na duże odległości, jak i przy przesyłaniu prostych komunikatów sterujących lub danych pomiarowych z czujników na niewielkie odległości. Z tego względu znaczącą rolę w przypadku omawianych systemów odgrywają media transmisyjne i mechanizmy przekazujące informacje, a także redundancja łącz.

1. Ocena bezpieczeństwa centrum zarządzania

Systemy telematyki zaliczane są do systemów rozległych. Z tego powodu bardzo często stosuje się nadmiarowość w przesyłaniu informacji z lokalnych systemów telematycznych do centrum zarządzania, które jest centralnym punktem całego systemu telematyki. W rozpatrywanym przykładzie (rys. 1) zastosowano cztery magistrale transmisyjne wykorzystujące:

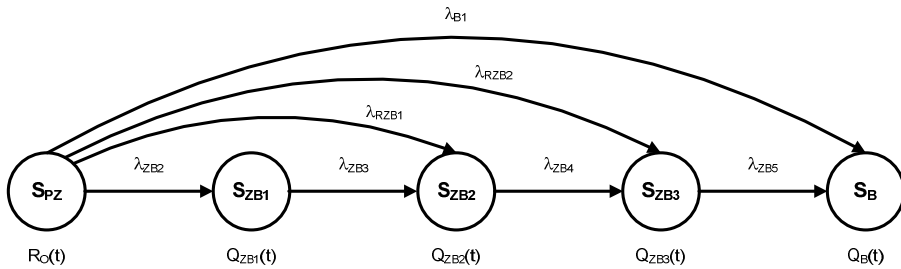
- cyfrową telefonię komórkową GSM (ang. *Global System for Mobile Communications*),
- radiolinie,
- ethernet,
- publiczną komutowaną sieć telefoniczną PSTN (ang. *Public Switched Telephone Network*).



Rys. 1. Schemat połączeń pomiędzy centrum zarządzania a systemami telematyki

Wybór metody i odpowiedniego medium transmisji zależne jest od zastosowanych urządzeń i ich zaawansowania technicznego, wymagań dotyczących przepustowości, zasilania itp. Bardzo istotny wpływ mają również warunki atmosferyczne, możliwość wystąpienia zakłóceń elektromagnetycznych [2, 4], mobilność lub stacjonarność elementów, warunki pracy, wymagania wynikające z oprogramowania i infrastruktury telekomunikacyjnej. Ważnym czynnikiem decyzyjnym jest także koszt implementacji i późniejszej eksploatacji wybranego medium i metody transmisji informacji telematycznych.

Analizując system (rys. 1) można stwierdzić, że ma on niezawodnościową strukturę typu mieszanego [1, 3, 5, 6, 11, 12, 13]. Uszkodzenie centrum zarządzania powoduje przejście systemu ze stanu pełnej zdadności $R_O(t)$ do stanu zawodności bezpieczeństwa $Q_B(t)$. Uszkodzenie którejś z magistral transmisyjnych (GSM, radiolinia, ethernet, PSTN) powoduje przejście ze stanu pełnej zdadności $R_O(t)$ do stanu zagrożenia bezpieczeństwa $Q_{ZB}(t)$. Rysunek 2 obrazuje relacje zachodzące w rozpatrywanym systemie w aspekcie bezpieczeństwa.



Oznaczenia na rys.:

- $R_O(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie pełnej zdadności,
- $Q_{ZB}(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie zagrożenia bezpieczeństwa,
- $Q_B(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie zawodności bezpieczeństwa,
- λ_{B1} – intensywność przejść centrum zarządzania,
- $\lambda_{ZB2}, \lambda_{ZB3}, \lambda_{ZB4}, \lambda_{ZB5}$ – intensywność przejść magistral transmisyjnych
- λ_{RZB1} – intensywność przejść dwu magistral transmisyjnych
- λ_{RZB2} – intensywność przejść trzech magistral transmisyjnych

Rys. 2. Relacje w systemie z czterema magistralami transmisyjnymi

System przedstawiony na rys. 2 może być opisany następującymi równaniami Kołmogorowa-Chapmana:

$$\begin{aligned}
 R'_0(t) &= -\lambda_{B1} \cdot R_0(t) - \lambda_{ZB2} \cdot R_0(t) - \lambda_{RZB1} \cdot R_0(t) - \lambda_{RZB2} \cdot R_0(t) \\
 Q'_{ZB1}(t) &= \lambda_{ZB2} \cdot R_0(t) - \lambda_{ZB3} \cdot Q_{ZB1}(t) \\
 Q'_{ZB2}(t) &= \lambda_{ZB3} \cdot Q_{ZB1}(t) - \lambda_{ZB4} \cdot Q_{ZB2}(t) + \lambda_{RZB1} \cdot R_0(t) \\
 Q'_{ZB3}(t) &= \lambda_{ZB4} \cdot Q_{ZB2}(t) - \lambda_{ZB5} \cdot Q_{ZB3}(t) + \lambda_{RZB2} \cdot R_0(t) \\
 Q'_B(t) &= \lambda_{B1} \cdot R_0(t) + \lambda_{ZB5} \cdot Q_{ZB3}(t)
 \end{aligned} \tag{1}$$

Przyjmując warunki początkowe:

$$\begin{aligned} R_0(0) &= 1 \\ Q_{ZB1}(0) &= Q_{ZB2}(0) = Q_{ZB3}(0) = Q_B(0) = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Stosując przekształcenie Laplace'a otrzymuje się następujący układ równań liniowych:

$$\begin{aligned} s \cdot R_0^*(s) - 1 &= -\lambda_{B1} \cdot R_0^*(s) - \lambda_{ZB2} \cdot R_0^*(s) - \lambda_{RZB1} \cdot R_0^*(s) - \lambda_{RZB2} \cdot R_0^*(s) \\ s \cdot Q_{ZB1}^*(s) &= \lambda_{ZB2} \cdot R_0^*(s) - \lambda_{ZB3} \cdot Q_{ZB1}^*(s) \\ s \cdot Q_{ZB2}^*(s) &= \lambda_{ZB3} \cdot Q_{ZB1}^*(s) - \lambda_{ZB4} \cdot Q_{ZB2}^*(s) + \lambda_{RZB1} \cdot R_0^*(s) \\ s \cdot Q_{ZB3}^*(s) &= \lambda_{ZB4} \cdot Q_{ZB2}^*(s) - \lambda_{ZB5} \cdot Q_{ZB3}^*(s) + \lambda_{RZB2} \cdot R_0^*(s) \\ s \cdot Q_B^*(s) &= \lambda_{B1} \cdot R_0^*(s) + \lambda_{ZB5} \cdot Q_{ZB3}^*(s) \end{aligned} \quad (3)$$

Stosując przekształcenia odwrotne, otrzymuje się:

$$R_0(t) = e^{-(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2})t} \quad (4)$$

$$Q_{ZB1}(t) = \lambda_{ZB2} \cdot \left[\frac{-e^{-(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2})t} + e^{-\lambda_{ZB3}t}}{\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2} - \lambda_{ZB3}} \right] \quad (5)$$

$$\begin{aligned} Q_{ZB2}(t) &= \lambda_{ZB2} \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \left[\frac{e^{-(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2})t}}{(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2} - \lambda_{ZB3}) \cdot (\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2} - \lambda_{ZB4})} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{e^{-\lambda_{ZB3}t}}{(\lambda_{ZB3} - \lambda_{B1} - \lambda_{ZB2} - \lambda_{RZB1} - \lambda_{RZB2}) \cdot (\lambda_{ZB3} - \lambda_{ZB4})} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{e^{-\lambda_{ZB4}t}}{(\lambda_{ZB4} - \lambda_{B1} - \lambda_{ZB2} - \lambda_{RZB1} - \lambda_{RZB2}) \cdot (\lambda_{ZB4} - \lambda_{ZB3})} \right] + \\ &+ \lambda_{RZB1} \cdot \left[\frac{-e^{-(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2})t} + e^{-\lambda_{ZB4}t}}{\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2} - \lambda_{ZB4}} \right] \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
 Q_{ZB3}(t) = & \lambda_{ZB2} \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \lambda_{ZB4} \cdot \left[\frac{-e^{-(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2})t}}{(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2} - \lambda_{ZB3})(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2} - \lambda_{ZB4})(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2} - \lambda_{ZB5})} \right. \\
 & - \frac{e^{-\lambda_{ZB3}t}}{(\lambda_{ZB3} - \lambda_{B1} - \lambda_{ZB2} - \lambda_{RZB1} - \lambda_{RZB2})(\lambda_{ZB3} - \lambda_{ZB4})(\lambda_{ZB3} - \lambda_{ZB5})} - \\
 & - \frac{e^{-\lambda_{ZB4}t}}{(\lambda_{ZB4} - \lambda_{B1} - \lambda_{ZB2} - \lambda_{RZB1} - \lambda_{RZB2})(\lambda_{ZB4} - \lambda_{ZB3})(\lambda_{ZB4} - \lambda_{ZB5})} - \\
 & \left. - \frac{e^{-\lambda_{ZB5}t}}{(\lambda_{ZB5} - \lambda_{B1} - \lambda_{ZB2} - \lambda_{RZB1} - \lambda_{RZB2})(\lambda_{ZB5} - \lambda_{ZB3})(\lambda_{ZB5} - \lambda_{ZB4})} \right] + \\
 & + \lambda_{RZB1} \cdot \lambda_{ZB4} \cdot \left[\frac{e^{-(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2})t}}{(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2} - \lambda_{ZB4})(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2} - \lambda_{ZB5})} + \right. \\
 & + \frac{e^{-\lambda_{ZB4}t}}{(\lambda_{ZB4} - \lambda_{B1} - \lambda_{ZB2} - \lambda_{RZB1} - \lambda_{RZB2})(\lambda_{ZB4} - \lambda_{ZB5})} + \\
 & \left. + \frac{e^{-\lambda_{ZB5}t}}{(\lambda_{ZB5} - \lambda_{B1} - \lambda_{ZB2} - \lambda_{RZB1} - \lambda_{RZB2})(\lambda_{ZB5} - \lambda_{ZB4})} \right] + \\
 & + \lambda_{RZB2} \cdot \left[\frac{-e^{-(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2})t} + e^{-\lambda_{ZB5}t}}{(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2} - \lambda_{ZB5})} \right]
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 Q_B(t) = & \frac{\lambda_{B1}}{\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2}} \cdot \left[1 - e^{-(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2})t} \right] + \lambda_{ZB2} \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \lambda_{ZB4} \cdot \lambda_{ZB5} \cdot \\
 & \left[\frac{e^{-(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2})t}}{(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2})(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2} - \lambda_{ZB3})(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2} - \lambda_{ZB4})(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2} - \lambda_{ZB5})} + \right. \\
 & + \frac{e^{-\lambda_{ZB3}t}}{(\lambda_{ZB3} - \lambda_{B1} - \lambda_{ZB2} - \lambda_{RZB1} - \lambda_{RZB2})\lambda_{ZB3}(\lambda_{ZB3} - \lambda_{ZB4})(\lambda_{ZB3} - \lambda_{ZB5})} + \\
 & + \frac{e^{-\lambda_{ZB4}t}}{(\lambda_{ZB4} - \lambda_{B1} - \lambda_{ZB2} - \lambda_{RZB1} - \lambda_{RZB2})(\lambda_{ZB4} - \lambda_{ZB3})\lambda_{ZB4}(\lambda_{ZB4} - \lambda_{ZB5})} + \\
 & + \frac{e^{-\lambda_{ZB5}t}}{(\lambda_{ZB5} - \lambda_{B1} - \lambda_{ZB2} - \lambda_{RZB1} - \lambda_{RZB2})(\lambda_{ZB5} - \lambda_{ZB3})(\lambda_{ZB5} - \lambda_{ZB4})\lambda_{ZB5}} + \\
 & \left. + \frac{1}{(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2})\lambda_{ZB3}\lambda_{ZB4}\lambda_{ZB5}} \right] + \\
 & + \lambda_{RZB1} \cdot \lambda_{ZB4} \cdot \lambda_{ZB5} \cdot \left[\frac{-e^{-(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2})t}}{(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2})(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2} - \lambda_{ZB4})(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2} - \lambda_{ZB5})} \right. \\
 & - \frac{e^{-\lambda_{ZB4}t}}{(\lambda_{ZB4} - \lambda_{B1} - \lambda_{ZB2} - \lambda_{RZB1} - \lambda_{RZB2})\lambda_{ZB4}(\lambda_{ZB4} - \lambda_{ZB5})} - \\
 & - \frac{e^{-\lambda_{ZB5}t}}{(\lambda_{ZB5} - \lambda_{B1} - \lambda_{ZB2} - \lambda_{RZB1} - \lambda_{RZB2})(\lambda_{ZB5} - \lambda_{ZB4})\lambda_{ZB5}} + \\
 & \left. + \frac{1}{(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2})\lambda_{ZB4}\lambda_{ZB5}} \right] + \\
 & + \lambda_{RZB2} \cdot \lambda_{ZB5} \cdot \left[\frac{e^{-(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2})t}}{(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2})(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2} - \lambda_{ZB5})} + \right. \\
 & + \frac{e^{-\lambda_{ZB5}t}}{(\lambda_{ZB5} - \lambda_{B1} - \lambda_{ZB2} - \lambda_{RZB1} - \lambda_{RZB2})\lambda_{ZB5}} + \\
 & \left. + \frac{1}{(\lambda_{B1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{RZB1} + \lambda_{RZB2})\lambda_{ZB5}} \right]
 \end{aligned} \tag{8}$$

Przedstawione zależności (4÷8) pozwalają na kształtowanie niezawodności centrum zarządzania systemami telematyki już na etapie projektowania. Możliwe jest to poprzez dobór mediów transmisyjnych o odpowiedniej wartości wskaźników niezawodnościowych lub (i) zastosowanie struktury niezawodnościowej gwarantującej odpowiedni poziom niezawodności (zmniejszenie lub zwiększenie liczby metod i odpowiednich mediów transmisyjnych).

Wnioski

Przedstawiony proces analizy niezawodnościowej centrum zarządzania systemami telematyki pozwala na wyznaczenie poziomu niezawodności projektowanego systemu. Jest to możliwe poprzez zastosowanie takiej liczby metod i mediów transmisyjnych, które spełnią wymagania niezawodnościowe, a zarazem zagwarantują odpowiedni poziom wartości wskaźników niezawodnościowych. Rozwiązanie to pozwala na optymalny dobór struktur niezawodnościowych w stosunku do wymagań inwestora (zamawiającego).

Zastosowanie przedstawionej metodyki analizy niezawodnościowej umożliwia zwiększenie wartości wskaźników niezawodnościowych projektowanych centrów zarządzania systemami telematyki poprzez dokonanie analiz i symulacji, które pozwalają na dobór optymalnej struktury systemu z uwzględnieniem jego własności (np. rozmieszczenie podsystemów telematycznych i odległości pomiędzy nimi, ukształtowanie terenu, rodzaj zabudowy itp.), jak też wymagań użytkownika.

Prowadzone obecnie dalsze badania opisanego zagadnienia dążą do uwzględnienia nakładów finansowych przeznaczonych na media transmisyjne i ich wpływu na poziom niezawodności systemu telematyki.

Bibliografia

1. Będkowski L., Dąbrowski T.: Podstawy eksploatacji, cz. II Podstawy niezawodności eksploatacyjnej. Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2006.
2. Dyduch J., Paś J.: Środowisko elektromagnetyczne na kolei i jego wpływ na systemy bezpieczeństwa. Transport i Komunikacja nr 1/2009.
3. Jaźwiński J., Ważyńska-Fiok K.: Bezpieczeństwo systemów. PWN, Warszawa 1993.
4. Paś J., Dyduch J.: Oddziaływanie zakłóceń elektromagnetycznych na transportowe systemy bezpieczeństwa. Pomiary Automatyka Robotyka nr 9 i 10/2009.
5. Rosiński A.: Reliability analysis of the electronic protection systems with mixed – three branches reliability structure. Proc. International Conference European Safety and Reliability (ESREL 2009), Prague, Czech Republic 2009.

6. Rosiński A.: Design of the electronic protection systems with utilization of the method of analysis of reliability structures. Proc. Nineteenth International Conference On Systems Engineering (ICSEng 2008), Las Vegas, USA 2008.
7. Siergiejczyk M.: Efektywność eksploatacyjna systemów telematyki transportu. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, seria Transport, Nr 67, Warszawa 2009.
8. Siergiejczyk M., Gago S.: Koncepcja systemu monitorowania i nadzoru w węźle kolejowym. VI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna LOGITRANS 2009, Szczyrk 2009.
9. Wawrzyński W., Siergiejczyk M.: Functional and operational structures of the motorway telematics system. Journal of KONBiN, 2008 No 4.
10. Wawrzyński W., Siergiejczyk M. i inni: Sprawozdanie końcowe grant KBN 5T12C 066 25. Metody wykorzystania środków telematyki we wspomaganiu realizacji zadań transportowych. Kierownik: prof. dr hab. inż. W. Wawrzyński. Warszawa 2007.
11. Ważyńska-Fiok K.: Podstawy teorii eksploatacji i niezawodności systemów transportowych. WPW, Warszawa 1993.
12. Ważyńska-Fiok K., Jaźwiński J.: Niezawodność systemów technicznych. PWN, Warszawa 1990.
13. Zamojski W. (red.): Niezawodność i eksploatacja systemów. Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1981.

Recenzent:
Jerzy MIKULSKI

Evaluation of the safety of the centre of management of telematics systems

Key words

Reliability, telematics, monitoring.

Summary

Theory of the systems reliability is particularly applicable in the transport telematics systems, which, taking into consideration their specific character of use, should be characterised by the high level of reliability. The devices and electronic units applied in the wide range in these systems, especially microprocessor systems, require the necessity of a new point of view on reliability and the safety of these systems. This paper presents methodology of evaluation of the safety of the centre of management of telematics systems.