

MAGISTRALA 1-WIRE JAKO RDZEŃ APARATURY POMIAROWEJ BADAŃ NAD PRZEPLYWEM CIEPŁA I MASY W BIOREAKTORZE

Paweł Promiński, Wojciech Mueller, Daniel Pijanowski
Instytut Inżynierii Biosystemów, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Streszczenie. Kompostowanie jest wysoce złożonym procesem, na który wpływ ma szereg czynników, dlatego badanie jego przebiegu wymaga stworzenia wysoce specjalistycznych stanowisk pomiarowych. Jedną z istotnych wielkości, jakie w sposób znaczący wpływają na przebieg procesu kompostowania jest temperatura, która charakteryzuje się zarówno zmiennością czasową i przestrzenną. Wyposażenie bioreaktorów w dużą liczbę czujników pomiarów temperatury komplikuje do tego stopnia proces pozyskiwania danych, iż koniecznością staje się jego automatyzacja. Autorzy przeanalizowali dostępne rozwiązania i podjęli decyzję o wykorzystaniu magistrali 1-Wire, jako szkieletu aparatury pomiarowej, umożliwiającej podjęcie szerszych i dokładniejszych badań dotyczących problematyki przepływu ciepła i masy oraz weryfikacji stopnia dojrzałości kompostu na podstawie ilości wytworzonego ciepła.

Słowa kluczowe: 1-Wire, aparatura pomiarowa, kompostowanie

Wprowadzenie

Badania przebiegu procesu kompostowania zmierzające do pełniejszego wyjaśnienia przepływu ciepła i masy wymagają dużej liczby punktów pomiarowych temperatury, w szczególności gdy obserwujemy zmienność przestrzenną tego zjawiska. Konieczność umieszczenia dużej ilości czujników bezpośrednio w kompostowanym materiale z pewnością nie pozostaje bez wpływu na wspomniany proces i niesie ryzyko zaburzenia jego prawidłowego przebiegu. Biorąc powyższe pod uwagę oraz fakt, że badania prowadzone są w kilku bioreaktorach jednocześnie i że pomiary różnych wielkości fizycznych dokonywane będą z różną częstotliwością w zależności od mierzonej wielkości, położenia czujnika oraz dynamiki przebiegu procesu, koniecznym staje się zautomatyzowanie akwizycji pomiarów. Dodatkowo uwzględniając stronę finansową zauważamy, że właściwe zaprojektowanie i skonstruowanie stanowiska badawczego nie jest zagadnieniem trywialnym.

W związku z powyższym autorzy podjęli trud znalezienia technologii umożliwiającej realizację powyższych założeń. Przeprowadzone rozpoznanie wraz z analizą istniejących rozwiązań pomiarowych skierowały naszą uwagę na magistralę 1-Wire. Na bazie tej technologii została zaprojektowana i skompletowana aparatura pomiarowa oraz wytworzono niezbędne oprogramowanie umożliwiające automatyczny zapis danych.

Technologia

1-Wire jest nazwą określającą interfejs elektroniczny jak również protokół komunikacyjny opracowane przez firmę Dallas Semiconductor (obecnie Maxim). Pierwotnie zaprojektowano go jako protokół służący komunikacji na bardzo niewielkim dystansie z wykorzystaniem jednego wyprowadzenia. Jednak w niedługim czasie został opracowany nowy protokół komunikacyjny wyposażony w mechanizmy kontroli błędów transmisji oraz umożliwiający przesyłanie danych na znacznie większe odległości. Nazwa 1-Wire (ang. jeden przewód) bezpośrednio odnosi się do liczby linii danych wykorzystywanych do komunikacji między podłączonymi do niej urządzeniami.

Opisywane rozwiązanie jest interfejsem szeregowym [Bogusz 2004], a zatem w danej chwili możemy mieć do czynienia tylko z jednym urządzeniem nadającym. W przypadku gdy dwa lub więcej urządzeń usiłują przesyłać dane jednocześnie, pojawia się kolizja, a wysłane dane ulegają istotnemu zniekształceniu i są bezpowrotnie tracone. Dlatego 1-Wire działa zgodnie z modelem master/slave (urządzenie nadrzędne/podrzędne), który definiuje reguły komunikacji wielu urządzeń podłączonych do jednej magistrali. W tym modelu zdefiniowanym urządzeniem nadrzędnym jest mikrosterownik (master), który sprawuje kontrolę nad jednym lub wieloma urządzeniami podrzędnymi (slave, np. czujniki) i zgodnie ze specyfikacją protokołu komunikacyjnego informuje urządzenia podrzędne o możliwości nadawania przez nie sygnałów.

Prędkość transmisji zależy od trybu działania i wynosi do 15,4 kbps (kilobitów na sekundę) w trybie standardowym, do ok. 125 kbps w trybie overdrive. Każde z urządzeń przystosowanych do 1-Wire posiada zapisany w wewnętrznej pamięci ROM unikatowy 64 bitowy numer identyfikujący dany element układu pomiarowego. Struktura tego numeru składa się z trzech części. Osiem najbardziej znaczących bitów (ang. Most Significant Bit, MSB) są to bity cyklicznej kontroli nadmiarowej (ang. Cyclic Redundancy Check – CRC) wykorzystywane do wykrywania błędów transmisji, wyliczane na podstawie pozostałych 56 bitów. Kolejne 48 bitów stanowi numer seryjny wykorzystywany do odwoływania się układu master do urządzenia typu slave. Natomiast osiem najmniej znaczących bitów (ang. Least Significant Bit, LSB) przedstawia kod rodziny urządzenia (np. 28 dla wykorzystywanych przez autorów czujników DS18B20).

Tabela 1. Struktura numeru seryjnego urządzeń 1-Wire (na przykładzie DS18B20)

Table 1. The serial number structure of 1-Wire devices (example of DS18B20)

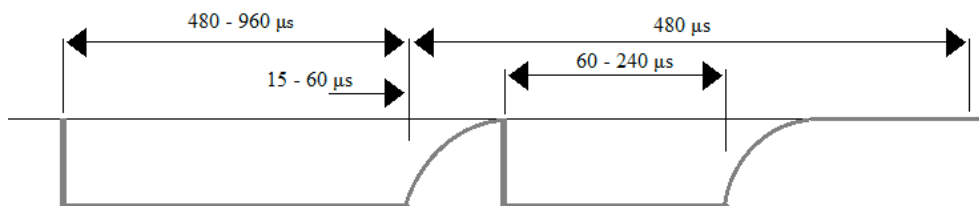
MSB	64-bit	LSB
8-bit CRC	48-bit numer seryjny	8-bit kod rodziny
0xDB	0x000001AFC334	0x28

W celu odczytu stanów logicznych 0 i 1 z urządzeń podrzędnych wykorzystana została koncepcja szczelin czasowych definiowanych jako czas pomiędzy zmianami stanów napięcia na linii, czyli stan niski (brak napięcia) oraz stan wysoki (obecne napięcie) na linii danych. Długość takiej szczeliny dla trybu standardowego wynosi od 60 μs do 120 μs . Biorąc pod uwagę, że standardowo na linii interfejsu 1-Wire utrzymywany jest stan wysoki (czyli układy są cały czas zasilane), to w uproszczeniu można przyjąć, że stan niski (brak napięcia) na magistrali trwający krócej niż szczelina definiowany jest jako binarne 1, natomiast trwający dłużej niż wynosi długość szczeliny rozpoznawany jest jako binarne 0.

Komunikacja z wykorzystaniem protokołu 1-Wire celem przeprowadzenia pomiaru przebiega w trzech fazach:

- inicjalizacja magistrali,
- wybór urządzenia slave,
- przesłanie polecenia do urządzenia.

Inicjacja linii danych (rys. 1) polega na ustaleniu przez układ master stanu niskiego na co najmniej 480 μs (Reset Pulse). Po tym czasie master zwalnia linię i oczekuje od 15-60 μs w celu ustalenia się stanu wysokiego, następnie wszystkie podłączone urządzenia slave przełączają jednocześnie magistralę w stan niski na okres 60-240 μs (Presence Pulse). Ostatnim etapem inicjalizacji jest zwolnienie linii przez urządzenia podrzędne i powrót stanu wysokiego na linii danych. Po przeprowadzeniu sekwencji inicjalizacji linii wszystkie urządzenia slave są zsynchronizowane z układem master.



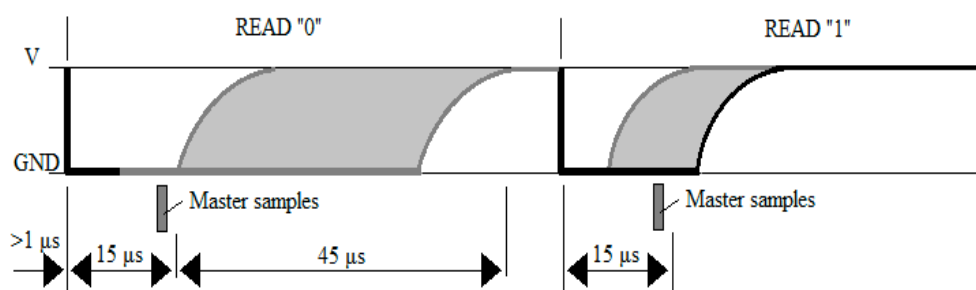
Rys. 1. Sekwencja inicjalizacji 1 Wire
Fig. 1 1-Wire initialization sequence

Następnie - w przypadku, gdy do linii podłączonych jest kilka urządzeń - należy wykonać polecenie służące ich rozpoznaniu (polecenie Search ROM).

Odczyt danych (rys. 2) transmitowanych z układów podrzędnych [Bernhard Linke 2009] odbywa się przez wygenerowanie przez mikrosterownik stanu niskiego na co najmniej 1 μs i zwolnienie linii danych, a następnie przed upływem 15 μs sprawdzenie stanu linii. W przypadku przesyłania z urządzenia slave logicznego 0, utrzyma ono stan niski przez co najmniej 15 μs od rozpoczęcia sekwencji odczytu, natomiast gdy transmitowana jest logiczna 1 stan niski nie zostanie utrzymany i w momencie sprawdzenia przez układ master, zostanie odczytany stan wysoki.

Zapis realizowany jest niemalże analogicznie do odczytu.

W zależności od potrzeb urządzenia podrzędne mogą być zasilane z wykorzystaniem zewnętrznego źródła zasilania, lub bezpośrednio z linii danych (tzw. tryb pasożytniczy, ang. parasite). Zasilanie pasożytnicze jest możliwe dzięki umieszczeniu w każdym urządzeniu, przystosowanym do takiego zasilania, kondensatora gromadzącego energię niezbędną do zasilania elementu pomiarowego gdy linia przełączona jest w stan niski.

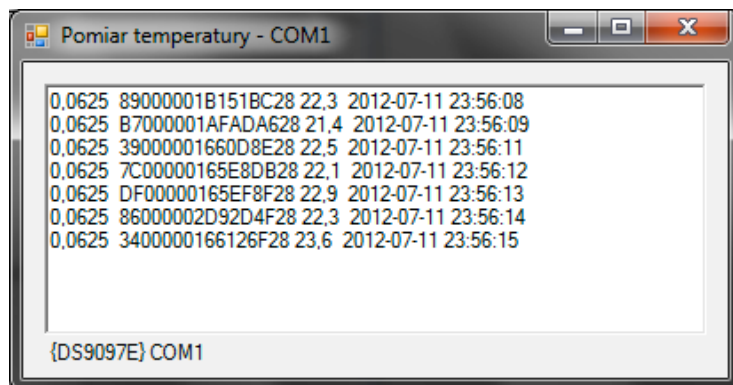


Rys. 2. Realizacja odczytu z urządzeń podrzędnych
 Fig. 2. Realization of read from slave devices

Projektowanie i implementacja systemu

Ważnym z punktu widzenia zapewnienia zdalnego monitorowania procesu kompostowania oraz wygody badań jest podłączenie aparatury badawczej do komputera. Dodatkowymi argumentami za tym przemawiającymi były możliwość integracji z istniejącą aplikacją służącą obsłudze stanowiska badawczego [Promiński i in. 2011] oraz mnogość użytych czujników i duża częstotliwość dokonywanych pomiarów. Generowana tym sposobem duża liczba danych mogłyby stanowić problem w ich akwizycji i dalszym ich natychmiastowym przetwarzaniu. Interfejs magistrali 1-Wire można implementować bezpośrednio w mikrokontrolerach zapisując kod w ich pamięci, bądź posłużyć się programowym wdrożeniem obsługi interfejsu wykorzystując narzędzia programistyczne i porty szeregowo w jakie wyposażony jest komputer. Z uwagi na prostotę i uniwersalność drugiego sposobu, polegającego między innymi na możliwości użycia wielu języków programowania autorzy zdecydowali się na użycie tej metodyki. Wykorzystując technologię .NET, środowisko programistyczne Visual Studio 2010, system zarządzania bazą danych SQL Server 2008 R2, bibliotekę OneWireAPI.NET oraz swoje doświadczenie w tworzeniu rozbudowanych systemów informatycznych autorzy wytworzyli kompleksową aplikację do obsługi aparatury pomiarowej zbudowanej w oparciu o magistralę 1-Wire.

Wytworzona aplikacja charakteryzuje się ascetycznym interfejsem użytkownika ograniczonym jedynie do funkcji informacyjnej. W okienku aplikacji wyświetlane są informacje dotyczące ostatniego dokonanego pomiaru. Rysunek 3 przedstawia efekt działania modułu odpowiedzialnego za cykliczny pomiar temperatury. Wyświetlane są informacje o rozdzielczości przetwarzania sygnału analogowego na cyfrowy dla poszczególnych czujników, numer identyfikacyjny czujnika, temperatura oraz data ostatniego pomiaru. Pomimo swojej prostej oprawy graficznej aplikacja pozwala na elastyczną obsługę wielu czujników podpiętych do linii 1-Wire wraz z możliwością zrównoleglenia odczytów z kilku magistrali podpiętych do komputera.

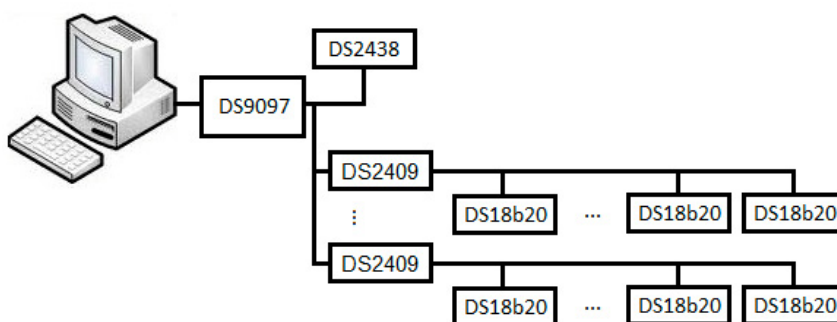


Rys. 3. Aplikacja służąca obsłudze magistrali 1-Wire
 Fig. 3. The application managing 1-wire bus

Logika aplikacji między innymi dba o prawidłowy przebieg procesu odczytów z czujników, a następnie - zgodnie z zaimplementowanym algorytmem - zbierane dane są selekcjonowane i zapisywane w specjalnie zaprojektowanej do tego celu relacyjnej bazie danych, co niewątpliwie przyspiesza i ułatwia ich późniejszą analizę [Mendrala i in. 2009].

Układ pomiarowy bioreaktora

Aparatura pomiarowa została podłączona do portów szeregowych RS232 komputera poprzez adaptery DS9097 (na rysunku 4 jest tylko jeden) pełniący funkcje urządzenia master. Z adapterów zostały wyprowadzone linie 1-Wire, do których dołączono szereg urządzeń slave. Z dokumentacji firmy Dallas wynika, że dla przyjętej koncepcji możliwe jest wykorzystanie do 150 urządzeń dołączonych przewodem o łącznej długości nie przekraczającej 100 metrów, co w chwili obecnej jest wystarczające dla przeprowadzenia badań w warunkach laboratoryjnych.



Rys. 4. Blokowy schemat logicznego podłączenia czujników
 Fig. 4. Block diagram of the logical sensor connections

Układ DS2438, który pomimo że fabrycznie zaprojektowany w celu monitorowania napięcia baterii, został wykorzystany do pomiaru różnicy potencjałów na nóżkach dopiętego do niego czujnika wilgotności HIH-4000-004. Informacje o napięciu dostarczane przez DS2438 po przetworzeniu pozwalają jednoznacznie określić wilgotność względną powietrza. Kolejnymi ważnymi układami ze względu na możliwość późniejszej rozbudowy wielopoziomowej topologii sieci czujników są układy DS2409, które zgodnie z dokumentacją producenta pełnią funkcję rozgałęźnika linii sygnałowej i ułatwiają podzielenie magistrali na segmenty z wydzielonymi zestawami elementów pomiarowych w każdym z odgałęzień. W wydzielonych segmentach magistrali zostały podpięte czujniki Maxim DS18B20 dokonujące pomiaru temperatury kompostowanego materiału w zakresie od -55°C do $+125^{\circ}\text{C}$ z programowalną rozdzielczością przetwarzania od 9 do 12 bitów. Czujniki te mogą być zasilane bezpośrednio z linii danych, dzięki temu nie jest konieczne prowadzenie dodatkowego przewodu zasilającego. Dla uzyskania możliwie najdokładniejszych odczytów pomiarów wykorzystywana jest najwyższa dostępna rozdzielczość, jednak takie ustawienie czujników powoduje wydłużenie czasu konwersji dokonywanej na jednym czujniku do 750 ms, co w efekcie przyczynia się do wydłużenia łącznego czasu odczytu temperatury ze wszystkich czujników podłączonych do jednego interfejsu do kilkudziesięciu sekund. Czas i warunki pomiaru nie mają wpływu na dokładność pomiaru, która dla wspomnianych czujników w zakresie temperatur od -10°C do $+85^{\circ}\text{C}$ wynosi $0,5^{\circ}\text{C}$. Zakres pracy z taką dokładnością pokrywa zakres temperatur, jakie osiąga kompostowany materiał [Jędrzak 2007; Olszewski i in. 2005]. Z uwagi na fakt, iż proces kompostowania i zmiany temperatury w trakcie jego trwania są to procesy wolnozmiennie, wydłużony łączny czas odczytu nie wpływa znacząco na efekty pomiarów. Pomimo to autorzy zdecydowali się przyspieszyć cykl odczytów temperatur poprzez zrównoleglenie odczytu z kilku gałęzi magistrali poprzez wykorzystanie kilku urządzeń typu master. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest szybkie dokonanie odczytów z podłączonych do poszczególnych magistrali czujników, obsłużenie większej liczby czujników w krótkim czasie oraz zwiększenie niezawodności funkcjonowania aparatury pomiarowej.

Podsumowanie

Dotychczasowe prace autorów przy projektowaniu stanowisk badawczych, praktyka w tworzeniu zaawansowanych aplikacji informatycznych oraz doświadczenie zdobyte podczas budowania stanowiska pomiarowego, którego rdzeń stanowi magistrala 1-Wire pozwalają na sformułowanie poniższych uwag i wniosków:

- Dzięki możliwości podłączenia wielu różnorodnych urządzeń stanowisko pomiarowe w skali laboratoryjnej może łatwo i szybko zostać rozbudowane pod kątem aktualnych wymagań pomiarowych.
- Udostępnienie bibliotek OneWireAPI.NET wraz z możliwością wykorzystania szerokiej gamy narzędzi programistycznych, tworzących technologię .NET pozwala w elastyczny sposób zautomatyzować proces akwizycji danych.
- Możliwość wykorzystania tylko jednej pary przewodów wraz z dostępnością szerokiego zakresu urządzeń stanowi niewątpliwą zaletą tego rozwiązania, albowiem zyskujemy

wyjątkową elastyczność na etapie projektowania i budowy topologii sieci czujników, stanowiącej układ pomiarowy.

Wykorzystanie magistrali 1-Wire jako szkieletu aparatury pozwoliło w pełni zrealizować założenia projektu oraz w sposób znaczący ułatwiło, wraz z powstałymi bytami programistycznymi, gromadzenie ogromnej liczby danych niezbędnych do prawidłowego poznania procesów przepływu ciepła i masy w bioreaktorze w skali laboratoryjnej. Osiągnięte efekty w odniesieniu do poniesionych stosunkowo niewielkich nakładów finansowych wyglądają bardzo korzystnie i w pełni uzasadniają wykorzystanie 1-Wire jako rdzenia aparatury pomiarowej badań nad przepływem ciepła i masy w bioreaktorze.

Bibliografia

- Bogusz J.** (2004): Lokalne interfejsy szeregowo w systemach cyfrowych. Wydawnictwo BTC, Warszawa, ISBN 83-921073-0-6.
- Jędrzak A.** (2007): Biologiczne przetwarzanie odpadów. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, ISBN 978-83-01-15166-9.
- San Jose, Linke B.** (2009): [dostęp 24-10-2011], Dostępny w Internecie: <http://www.maxim-integrated.com/app-notes/index.mvp/id/74>
- Mendrala D., Potasiński P., Szeliga M., Widera D.** (2009): Serwer SQL 2008. Administracja i programowanie. Helion, Gliwice, ISBN 978-83-246-2033-3.
- Olszewski T., Dach J., Jędrus A.** (2005): Modelowanie procesu kompostowania nawozów naturalnych w aspekcie generowania ciepła. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, Vol. 50, 2, 40-42.
- Promiński P., Mueller W., Dach J., Kujawa S.** (2011): System informatyczny wspomagający gromadzenie i analizę danych pozyskiwanych w procesie kompostowania. Inżynieria Rolnicza, 6(131), 165-171.
- MicroLAN - In The Long Run (on-line), Dallas, Dallas Semiconductor, 1995, [dostęp 31.08.2012], Dostępny w Internecie: http://files.tomek.cedro.info/electronics/pdf/dallas_ibuttons/chips/app108.pdf
- DS2409 MicroLAN Coupler (on-line), Dallas, Dallas Semiconductor, 2001, [dostęp 31.08.2012], Dostępny w Internecie: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS2409.pdf>
- Reading and Writing 1-Wire® Devices Through Serial Interfaces (on-line).
- 1-Wire Tutorial Presentation (on-line).
- San Jose, MAXIM Integrated, 2001, [dostęp 24.10.2011], Dostępny w Internecie: <http://www.maxim-integrated.com/products/1-wire/flash/overview/index.cfm>
- DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer (on-line).
- San Jose, MAXIM Integrated, 2011, [dostęp 31-08-2012], Dostępny w Internecie: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

1-WIRE BUS AS THE CORE OF THE MEASURING APPARATUS STUDIES OF HEAT AND MASS FLOW IN THE BIOREACTOR

Abstract. Composting is a highly complex process, which is affected by numerous factors, therefore, study on its course requires highly specialized measuring apparatus. One of the factors which significantly affects the composting process is temperature, which is characterized by both temporal and spatial variability. Equipment of bioreactors with a large number of temperature measurement sensors complicates the process of data acquisition to such extent that its automation is necessary. The authors analysed available solutions and decided to use 1- Wire bus as a frame of the measuring apparatus that allows to undertake research on problems of heat and mass flow and to verify the degree of maturity of compost based on the amount of heat produced.

Key words: 1-Wire, measuring apparatus, composting

Adres do korespondencji:

Paweł Promiński; e-mail: pawel.prominski@up.poznan.pl
Instytut Inżynierii Biosystemów
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 50
60-627 Poznań