

МОДЕЛИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ И ПРОЦЕССАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ СВЯЗИ

¹Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь

Целью работы является разработка структурно-функциональной и математических моделей микроконтроллерной системы (МКС) для осуществления мониторинга и управления объектами и процессами различного назначения с использованием средств связи.

Схема, иллюстрирующая реализацию мониторинга и управления объектом или процессом, показана на рисунке 1.

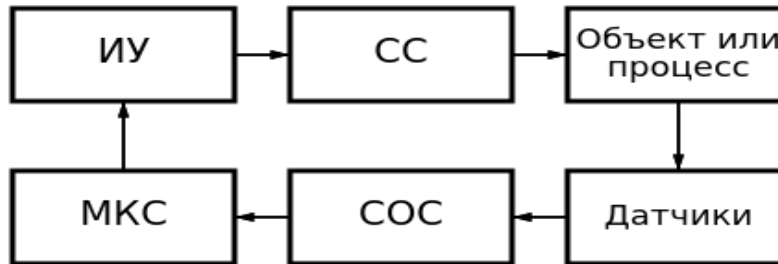


Рисунок 1 – Схема реализации мониторинга и управления объектом или процессом

На рисунке 1 обозначены: 1) ИУ – исполнительные устройства, корректирующие текущее состояние объекта или процесса в случае его отклонения от заданного; 2) СС – средства связи с контролируемым и управляемым объектом или процессом; 3) СОС – средства обратной связи, получаемые данные от датчиков о текущем состоянии объекта или процесса и передающие их на МКС для коррекции контролируемого состояния в случае его отклонения от заданного. Основным модулем МКС является микроконтроллер (МК), подробное описание которого приведено в [1].

От датчиков с использованием СОС на МКС поступает множество информационных сигналов $Y = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_{k-1}, y_k\}$, $|Y| = k$, а, в свою очередь, МК обрабатывает Y и на выходе формирует множество управляющих сигналов $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_{k-1}, u_k\}$, $|U| = k$, поступающих через ИУ и СС на контролируемый и управляемый объект или процесс, состояние которого измеряется датчиками.

Ядром МКС является компьютер, обрабатывающий и хранящий данные, необходимые для функционирования МК, ИУ, СС и системы в целом. Поскольку от датчиков, кроме цифровых сигналов, могут поступать аналоговые, то на входе компьютера необходимо наличие аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Выходной сигнал компьютера имеет цифровую форму и, следовательно, в случае формирования аналогового сигнала необходимо использовать цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). Все реальные технические средства по своей природе являются нелинейными и, следовательно, МКС в совокупности с другими техническими модулями можно рассматривать как нелинейную цифровую систему управления (НЦСУ).

Работоспособность НЦСУ в значительной степени зависит от стабильной и надежной работы компьютера и других технических средств. Основным критерием работоспособности НЦСУ является достижение ее абсолютной устойчивости, суть которой заключается в том, что все траектории корней, полученных при решении алгебраических уравнений, описывающих динамику системы, должны находиться внутри окружности единичного радиуса комплексной плоскости $z = \delta^* + j\omega^*$.

НЦСУ состоит из нелинейного элемента (НЕ) с характеристикой $\varphi(\sigma)$, линейной цифровой части (ЛЦЧ), представляющей собой совокупность цифрового элемента с периодом переключения T и приведенной непрерывной линейной части (ПНЛЧ), состоящей из экстраполирующего устройства (ЭУ) и непрерывной части. Передаточная функция ПНЛЧ, как правило, задается от переменной $p = \delta + j\omega$ и представляет собой трансцендентную функцию, что вызывает большие трудности при оперировании с такой функцией и дальнейшем исследовании. Поэтому необходим переход от трансцендентной функции к рациональной. Для достижения этой цели применим z – преобразование. Это объясняется тем, что z – преобразование, являющееся преобразованием для цифрового сигнала с присущей ему компактностью и обозримостью выкладок, есть рациональная функция от комплексного переменного $z = \delta^* + j\omega^*$ и, как следствие из этого, – построение корневых портретов цифровых систем можно осуществлять с помощью тех же правил, которые справедливы для построения корневых траекторий непрерывных систем.

В общем виде z – преобразование для передаточной функции ЛЦЧ системы имеет вид:

$$D(z) = \sum \text{вычеты } G(p) * \frac{1}{1 - e^{pT}z^{-1}},$$

полюсы $G(p)$

где $G(p) = \psi_m(p) / \Phi_n(p)$; $p = \delta + j\omega$; $\psi_m(p)$, $\Phi_n(p)$ – полиномы целочисленных степеней m и n соответственно, $D(z)$ – z -преобразование для $G(p)$, где $z = e^{(\delta + j\omega)T}$.

Для случая, когда $\Phi_n(p)$ имеет простые корни, приведенное выше выражение для $D(z)$ запишем следующим образом:

$$D(z) = \left[\sum_{n=1}^N \frac{\psi_m(p_n)}{\Phi_n(p_n)} \cdot \frac{1}{1 - e^{-T(p-p_n)}} \right] \text{ при } z = e^{pT},$$

где $p_1, p_2, p_3, \dots, p_N$ – простые корни $\Phi_n(p_n)$, $\Phi_n(p_n) = d\Phi(p)/dp_p = p_n$.

Из двух вышеприведенных формул видно, что функция $D(z)$ только переменного $z = \delta^* + j\omega^* = e^{pT}$, где T – период дискретности.

Поскольку $D(z)$ – функция только переменного $z = \delta^* + j\omega^* = e^{pT}$, то вся окружность единичного радиуса, лежащая в плоскости z , является конформным отображением частотного годографа $D(z)$ плоскости D на плоскость z при $z = e^{j\omega T}$. Следовательно, рассматриваемая система будет работоспособной при условии нахождения всех корневых траекторий внутри окружности единичного радиуса плоскости z . Следует отметить, что компьютер, как основной модуль МКС, обладает передаточной функцией как отношение двух полиномов:

Цифровое развитие «умных городов» и интеллектуальные решения

$$D(z) = \frac{a_0 z^n + a_1 z^{n-1} + \dots + a_n}{b_0 z^m + b_1 z^{m-1} + \dots + b_m}.$$

В линейном случае работоспособность компьютера можно определить путем решения характеристического уравнения, получаемого приравниванием полинома в знаменателе нулю. Если корни данного уравнения лежат строго внутри окружности единичного радиуса плоскости z , то в этом случае компьютер должен быть в работоспособном состоянии при его функционировании в реальных условиях, с учетом, что $n < m$. Для автоматизации расчета работоспособности НЦСУ разработано программное средство на основе использования приведенных выше математических моделей, а для функционирования МКС предложен следующий обобщенный алгоритм: 1) сначала осуществляется настройка МКС; 2) производится ввод данных с датчиков; 3) осуществляется обработка данных компьютером; 4) проверяется: все ли данные обработаны?, если нет, то переход к пункту 2), если да – к пункту 5); 5) формируется множество управляющих сигналов на ИУ; 6) с выходов ИУ производится подача сформированных сигналов на контролируемый и управляемый объект или процесс. Программно алгоритм реализован на языке Rust [2]. Итак, в процессе проведенного исследования: 1) разработана схема реализации мониторинга и управления объектом или процессом; 2) проведен анализ работоспособности НЦСУ на основе предложенных математических моделей и спроектировано программное средство расчета показателей качества системы; 3) предложен алгоритм функционирования МКС, программно реализованный на языке Rust.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Иоффе, В. Г. Структурная организация однокристалльных микроконтроллеров [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. Г. Иоффе. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – 206 с.
2. Клабник, С. Программирование на Rust / С. Клабник, К. Николс. – Питер : ЛитРес, 2021. – 592 с.