

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ В САУ РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ

В.И. Бессараб, доц., к.т.н., Р.В. Федюн, к.т.н.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ул. Артема, 58,
bvi@fcita.dn.ua, frv@ukrtop.com

Рассматриваются вопросы использования современных телекоммуникационных технологий при построении многоуровневых систем управления многомерными, распределенными объектами. Предложена структура системы управления, которая реализует распределенный алгоритм управления с использованием телекоммуникационной технологии Profibus.

Современное предприятие является сложным объектом автоматизации, который характеризуется тесной взаимосвязью отдельных технологических процессов, большим количеством технических и технологических параметров, распределенностью в пространстве. Поэтому практически любой объект выступает многосвязным, многомерным, с распределенными параметрами. Системы автоматического управления такими объектами могут быть одноуровневыми децентрализованными или многоуровневыми. В настоящее время для повышения эффективности управления объектами такого класса применяются многоуровневые системы автоматического управления, основанные на применении современных цифровых технологий.

При построении систем управления распределенными объектами используются два подхода. Классический подход к автоматизации сложных распределенных объектов предусматривает подключение каждого датчика к центральному контроллеру отдельным (и довольно дорогим) высококачественным кабелем. Это же относится и к подключению исполнительных органов. Альтернати-

вой описанному подходу, являются системы автоматического управления, построенные с использованием промышленных шин - fieldbus. К наиболее известным и применяемым в мире открытым промышленным сетям относятся: CAN, LON, Profibus, Interbus-S, FIP, ControlNet, Foundation Fieldbus, DeviceNET, ASI, HART, MicroLAN, и некоторые другие [1]. Каждая из перечисленных систем имеет свои особенности, достоинства и предназначена для применения на определенном уровне предприятия.

Переход на fieldbus-технологии обеспечивает улучшение качества, снижение затрат и повышение эффективности конечной системы. Каждое устройство может выполнять функции управления, обслуживания и диагностики. Это существенно увеличивает эффективность системы в целом и снижает затраты по ее сопровождению. Таким образом, на современном этапе развития систем автоматизации при построении систем управления распределенными объектами и процессами необходимо ориентироваться на использование телекоммуникационных сетей класса fieldbus.

Многоуровневая структура системы управления обеспечивает ее надежность, оперативность, ремонтпригодность, эффективность функционирования. При этом обеспечивается оптимальный уровень децентрализации управления с минимальным количеством средств технологического контроля, управления и линий связи между ними. Построение систем автоматизации по уровням управления определяется целями (критериями) управления соответствующими технологическими объектами управления. Задачи, решаемые на каждом уровне предприятия, определяют требования к многоуровневой системе автоматизации. На верхнем уровне решается задача обеспечения оптимальной работы всего предприятия в целом. В результате система управления верхнего уровня выдает оптимальные значения технологических параметров, которые являются задающими воздействиями для систем управления нижних уровней.

При построении многоуровневых систем автоматизации, как правило, стоят задачи организации информационного обмена между уровнями. В одном случае необходим обмен комплексными сообщениями на средних скоростях. В

другом - быстрый обмен короткими сообщениями с использованием упрощенного протокола обмена (уровень датчиков и исполнительных механизмов). Для этих случаев наиболее подходит телекоммуникационная система Profibus [2]. В настоящее время под этим общим названием понимается совокупность трех отдельных протоколов: Profibus-FMS, Profibus-DP и Profibus-PA. Протокол Profibus-DP был спроектирован для организации быстрого канала связи с уровнем датчиков и исполнительных механизмов. Протокол Profibus-FMS предназначен для работы на так называемом цеховом (верхнем) уровне. Здесь требуется высокая степень функциональности, и этот критерий важнее критерия скорости. FMS-протокол допускает гибридную архитектуру взаимодействия узлов. Протокол Profibus-PA - это расширение DP-протокола для организации обмена информацией во взрывоопасных средах. Использование системы Profibus позволяет создавать системы управления на трех уровнях – уровне периферийного оборудования, уровне производства, уровне цеха. Учитывая определенную универсальность и распространенность данного протокола можно рекомендовать его применение при построении многоуровневых систем управления сложными распределенными объектами.

Особый интерес представляет организация нижнего уровня системы управления многомерным многосвязным объектом. В традиционном представлении многомерные системы управления рассматриваются в виде некоторого набора аппаратуры, которая создает инфраструктуру для реализации расчетного алгоритма управления. Как правило, многомерные системы управления, применяемые в современной автоматике, имеют множественные точки съема данных и точки физического воздействия (точки подключения датчиков и исполнительных механизмов к объекту управления), которые разнесены в пространстве на значительные расстояния. Эта изначально присутствующая распределенность в пространстве диктует целесообразность реализации многомерных систем в виде архитектуры с распределенным алгоритмом управления. Распределение алгоритма управления между множеством активных устройств в пространстве требует построения архитектуры, существенно отличающейся от структуры ти-

па - центральный контроллер/дистанционные датчики и исполнительные механизмы (master/slave), широко распространенную в промышленных телекоммуникационных сетях.

Распределение алгоритма управления между множеством отдельных процессоров фактически предполагают организацию распределенной вычислительной сети с конечным числом программируемых процессоров (CLC), реализующих общий алгоритм управления объектом заданной размерности и объединенных единой телекоммуникационной шиной.

Известные решения [3], в том числе и для сетей Profibus не предусматривают использование возможностей открытого телекоммуникационного протокола для организации специального режима обмена в сети. Как правило, авторы указывают на такие возможности, но конкретные решения не предлагают.

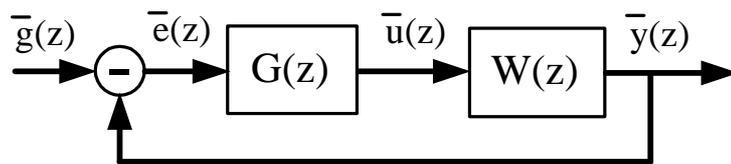
Для реализации таких технических структур на нижнем уровне управления необходимо решить следующие основные задачи:

- реализовать декомпозицию сосредоточенного многомерного алгоритма в виде удобном для применения в распределенной сети;
- разработать структуру такой сети применительно к известным реализациям промышленных телекоммуникационных шин (fieldbus);
- решить проблему синхронизации работы системы и оценить требования по быстродействию полевой шины для конкретной телекоммуникационной технологии взаимодействия.

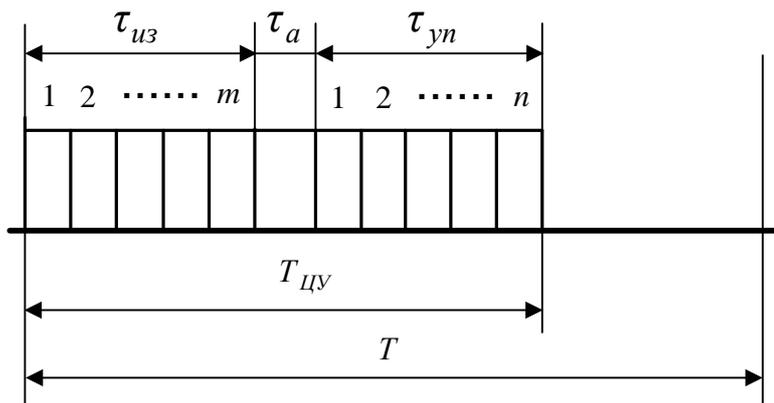
В общем случае линейная многомерная система управления может быть представлена в следующем виде (рис.2,а).

Если m датчиков формируют вектор измерений $\bar{y}(1 \times m)$ и n исполнительных органов формируют вектор управления $\bar{u}(1 \times n)$, то очевидно, что для реализации такой системы с сосредоточенным классическим регулятором необходимо $n+m$ пар условных проводов, или при реализации алгоритма в системе на основе промышленной шины $n+m$ виртуальных каналов во временной последовательности каждого цикла управления $T_{ЦУ}$. Т.е. за цикл управления системы на шине формируется минимум $n+m$ временных интервалов (тайм-слотов) во вре-

мя которых осуществляется считывание значений датчиков $\tau_{из}$ и выдача управляющих значений $\tau_{уп}$ (рис.2,б).



а)



б)

Рисунок 2- Структурная схема многомерной САУ с регулятором выхода (а) и временная диаграмма одного цикла управления при использовании шины Profibus (б)

Для определения временных характеристик процессов обмена данными в сети Profibus разработана коммуникационная модель [4] взаимодействия технических средств сети, с использованием которой выполнено моделирование процессов обмена данными и определены числовые значения тайм-слотов, а также интервалы возможных изменений величин $\tau_{из}$ и $\tau_{уп}$.

Запаздывание в системе управления может располагаться на входе модели или на ее выходе.

Запаздывание по входу описывается следующими уравнениями в пространстве состояний:

$$\bar{x}(kT + 1) = \Phi \bar{x}(kT) + \mathbf{H} \bar{u}(kT - d_1)$$

$$\bar{y}(k) = \mathbf{C} \bar{x}(k),$$

где d_1 - величина запаздывания на входе объекта управления.

Запаздывание по выходу:

$$\bar{x}(kT + 1) = \Phi \bar{x}(kT) + \mathbf{H} \bar{u}(kT)$$

$$\bar{y}(k) = \mathbf{C} \bar{x}(k - d_2),$$

где d_2 - величина запаздывания на выходе объекта управления.

Запаздывание, включенное в матрицы системы Φ и \mathbf{H} :

$$\bar{x}(kT + 1) = \Phi_d \bar{x}(kT) + \mathbf{H}_d \bar{u}(kT) \quad (1)$$

$$\bar{y}(kT) = \mathbf{C} \bar{x}(kT).$$

Способ введения запаздывания (по входу или выходу) зависит от технологической структуры реального объекта управления. По отношению к объекту управления сеть Profibus вносит следующие задержки: по каналам измерения - запаздывание по выходу; по каналам управления - запаздывание по входу.

Оценка влияния длительности цикла управления $T_{ЦУ}$ на изменение динамических показателей системы выполняется согласно следующей методике:

- пересчитана модель дискретной системы с новым периодом дискретности $T_d = T_{ЦУ}$;

- введены новые матрицы динамики Φ_d и управления \mathbf{H}_d , учитывающие наличие дополнительных переменных состояния, согласно (1);

- с использованием методики и разработанных программных средств построения переходных процессов в дискретной системе получены переходные процессы в системе управления;

- относительное отклонение полученных переходных процессов ε от процессов для "идеальной" системы при тех же параметрах модели динамики с учетом запаздывания в каналах исследовались в диапазоне изменения $T_y / T = 0.1 - 0.4$.

Обобщение результатов моделирования представлено на рисунке 3. Приведенный на рисунке. 3, график отражает зависимость относительного отклонения динамических процессов реальной системы и "идеальной" ε от длительности цикла управления T_y (скорости обмена данными v_n). Полученная зависи-

мость (рис.3) показала, что удовлетворительное качество управления в системе, выполненной с использованием промышленной шины получается, если длительность цикла управления $T_{ЦУ}$ составляет не более 30 % от периода дискретности T . Если же $T_{ЦУ} > 0,3 \cdot T$ то возникает потеря качества управления за счет запаздывания в каналах измерения и управления.

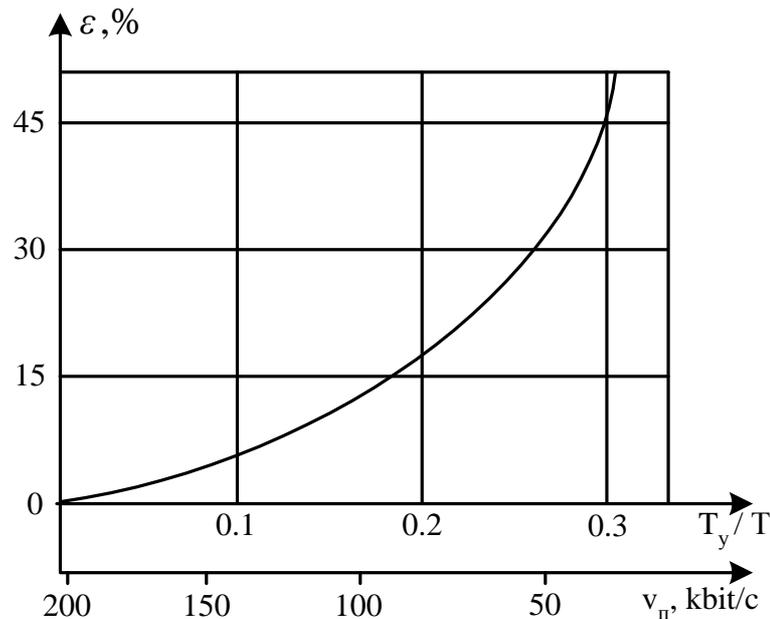


Рисунок 3 - Влияние длительности цикла управления T_y (скорости передачи v_p) на динамику замкнутой системы управления

Для расширения возможностей использования промышленных телекоммуникационных шин предлагается разбиение сосредоточенного алгоритма управления, реализующего оператор управления $\mathbf{G}(z)$ на отдельные составляющие $\mathbf{G}_i(z)$, которые можно реализовать на локальных контроллерах интеллектуальных датчиков и исполнительных механизмов.

Компоненты вектора управления вычисляется как свертка оператора управления $\mathbf{G}(z)$ и вектора ошибки $\bar{e}(z)$:

$$\bar{u}(z) = \mathbf{G}(z) \cdot e(z),$$

или в виде эквивалентного ряда:

$$u_i(z) = \sum_{j=1}^m G_{ji}(z) \cdot e_j(z) = G_i(z) \cdot e(z),$$

где $i = 1 \dots n$.

Каждая составляющая вектора управления рассчитывается на соответствующем контроллере, который управляет данным интеллектуальным исполнительным механизмом. В результате получаем структуру системы, которая представлена на рисунке 4.

В этом случае slave-устройство датчика дополнительно вычисляет компоненту вектора ошибки e_i по задающему воздействию g_i и текущему измерению y_i . Для передачи g_i нужно m виртуальных сетевых каналов, эквивалентных циклу измерения в классической сосредоточенной схеме. Узел датчика в предлагаемой схеме соединяется со slave-устройствами исполнительных механизмов для передачи компоненты e_i . При этом используется тип соединения "точка-многоточка", т.е. за один тайм-слот i -я компонента вектора ошибки передается на все slave-устройства исполнительных механизмов.

Для случая $\bar{g}(z) = const$, что достаточно часто встречается в реальных системах управления промышленными объектами, полный цикл информационного обмена за период дискретности сводится к виду, представленному на рисунке 4,б.

Для оценки работоспособности предложенной схемы реализации многомерных алгоритмов управления для сетей Profibus выполнено моделирование телекоммуникационного взаимодействия в САУ трехступенчатой водоотливной установкой угольной шахты, которая работает по технологической схеме «насос в насос». Данная технологическая схема водоотлива представляет собой сложный объект управления и характеризуется многомерностью, многосвязностью и распределенностью в пространстве. При моделировании использована разработанная коммуникационная модель протокола Profibus [4], которая позволила выполнить исследования временных характеристик процессов обмена данными. В результате моделирования установлено, что по отношению к классическому алгоритму работы сети предложенный вариант реализации распре-

деленной САУ позволяет сократить цикл управления на 20-30%.

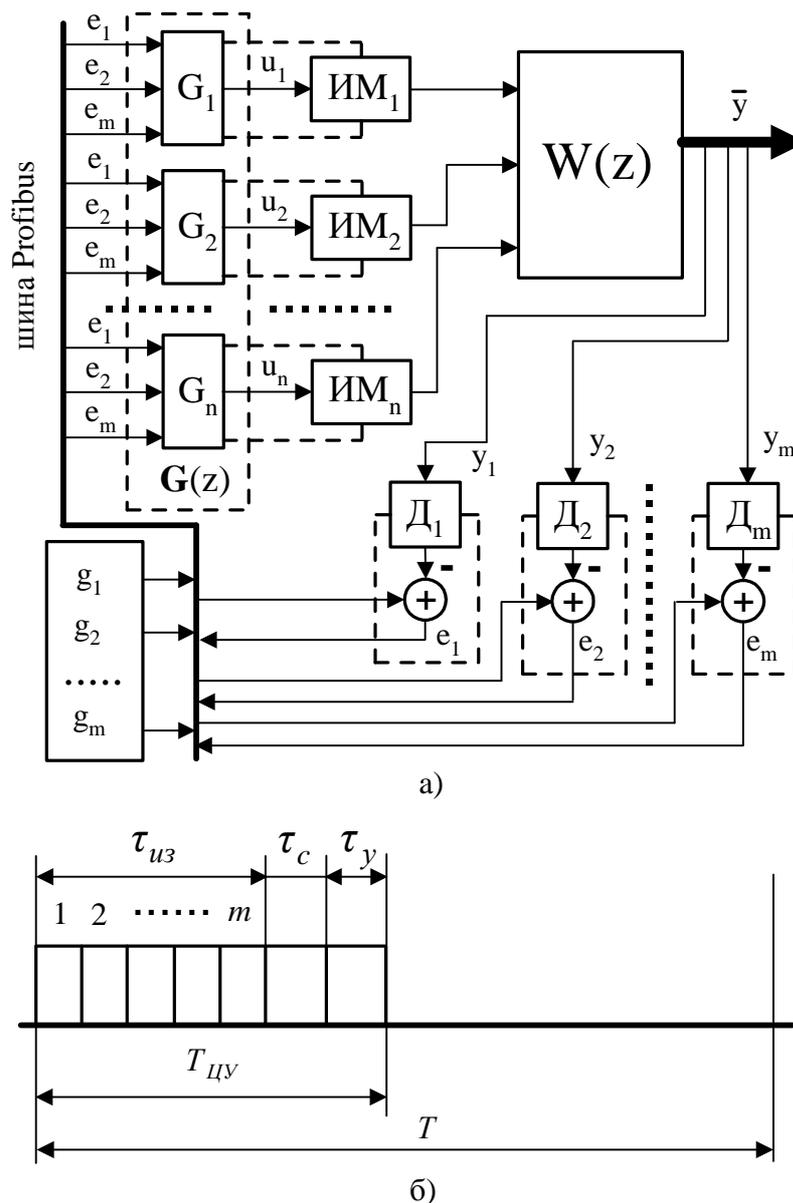


Рисунок 4 - Многомерная система управления с распределенным алгоритмом на основе технологии Profibus (а) и временная диаграмма одного цикла управления (б)

Выводы.

1. Построение многоуровневых систем значительно упрощается, если использовать специализированные телекоммуникационные сети класса fieldbus.
2. Предложен принцип декомпозиции сосредоточенного многомерного алгоритма управления объектом к рассредоточенному виду с учетом особенностей и возможностей master и slave устройств сети Profibus.

3. С учетом возможностей протокола сети Profibus предложен специальный алгоритм телекоммуникационного обмена позволяющий уменьшить временной цикл управления САУ.

4. По результатам моделирования для САУ многоступенчатой водоотливной установкой шахты получены результаты, подтверждающие уменьшение цикла управления на 20-30% по отношению к классической реализации системы управления.

Библиографический список

1. Звягинцев А.М., Красников А.Л., Курносков Н.М., Долинин И.В., Скрыпников С.Н. Полевые шины fieldbus - новая перспектива в автоматизации управления технологическими процессами // Датчики и системы.- 1999.-№ 7-8.- С. 61-73.

2. Любашин А.Н. PROFIBUS - открытая шина для открытых технологий // PCWeek. - 1998. - № 8. - С. 12-17.

3. Чимишкян С.А. Распределенные алгоритмы управления. // Мир компьютерной автоматизации. 2000.- № 1.- С.26-30.

4. Ткаченко В.Н., Бессараб В.И., Федюк Р.В. Влияние скоростных характеристик телекоммуникационной сети в САУ многоступенчатым водоотливом шахт. // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. Випуск 47, Донецьк: ООО «Норд Компьютер», 2002.- С. 69 - 74.