

### Список літератури

1. Angelakis C. A A Neural Network-based Method for Gas Turbine Blading Fault Diagnosis / C. Angelakis, E. N. Loukis, A. D. Pouliezios, G. S. Stavrakakis // International Journal of Modelling and Simulation – 2001. – Vol. 21, No. 1. – p. 51-60.
2. Kong C. Intelligent performance diagnostics of a gas turbine engine using user-friendly interface neural networks / C. Kong, J. Ki, M. Kang, S. Kho // Aircraft Engineering and Aerospace Technology. – 2004. - Vol. 76 Iss: 4. - pp.391 – 397.
3. Urban L. A. Gas Path Analysis Applied to Turbine Engine Condition Monitoring / Urban L. A. // J. of Aircraft. - 1973. - Vol. 10, No. 7. – p. 37 – 46.
4. Горбійчук М. І. Синтез функцій класифікації на основі генетичних алгоритмів / М. І. Горбійчук, С. Т. Самуляк, І. В. Щупак // Штучний інтелект. – 2010. - № 2. – С. 24 – 31.
5. Система управління газоперекачиваючими агрегатами // Електронний ресурс: <http://turbunist.ru/modules.php?name=New&file&sid=14> – 5 с.
6. Стационарная система мониторинга и диагностирования компрессорного цеха // Электронный ресурс: <http://kotris.kiev.ua/category/ssmd-kc/> - 3 с.
7. Горбійчук М. І. Мікропроцесорна система оптимального керування компресорними станціями / М. І. Горбійчук, М. І. Когутяк, Є. О. Ковалів // Вісник технологічного університету Поділля. – 2003. – Том 1. Технічні науки. – С. 41 – 44.
8. Столлингс В. Компьютерные системы передачи данных: [пер. с англ. А. В. Высоцкого, А. В. Назаренко под ред. А. В. Высоцкого] / В. Столлингс. – 6-е изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. – 928 с.
9. Programmable controllers - programming languages: IEC 1131-3 // Электронный ресурс: <http://www.chipmaker.ru/files/file/1886/> - 242 с.
10. Зюбин В. Е. К пятилетию стандарта IEC 1131-3. Итоги и перспективы / В. Е. Зюбин // Приборы и системы управления. – 1999. – №1. – С. 64 – 71.
11. Христенсен Джеймс Х. Знакомство со стандартом на языки программирования PLC: IEC 1131-3 (МЭК 1131-3) / Джеймс Х. Христенсен // Электронный ресурс: <http://www.asutp.ru/?p=600256>. – 6 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачевим В.В.  
Надійшла до редакції 14.06.11*

УДК 622.6-52

© В. В. Ткачев, П. Ю. Огеенко, А. В. Лозовягин

## **ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАНАЛА СВЯЗИ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ НА БАЗЕ CAN ТЕХНОЛОГИЙ**

Рассмотрена актуальность развития децентрализованных систем управления. Сделан анализ недостатка полевой шины CAN при высокой информационной нагрузке канала связи. Предложено выполнять распределение пропускной способности канала связи для гарантирования передачи сообщений с низким приоритетом. Сделаны выводы по полученным в ходе экспериментов данным.

Розглянуто актуальність розвитку децентралізованих систем керування. Виконано аналіз недоліку польової шини CAN при високій інформаційній навантаженості каналу зв'язку. Запропоновано виконувати розподіл пропускної здібності каналу зв'язку для гарантування передачі повідомлень з низьким пріоритетом. Зроблено висновки за отриманими у ході експериментів даними.

The actuality of development of decentralized control systems is considered. The disadvantage of CAN field bus with high information load of the communication channel is analyzed. The allocation of communication channel bandwidth usage is proposed to guarantee transmitting of low priority messages. Conclusions are made about data obtained during the experiments.

Современные технологические объекты часто настолько сложны, что использование для их контроля и управления централизованных систем управления становится просто невозможным. Это связано с распределением в пространстве, сложной топологией, большим числом датчиков и исполнительных механизмов, помехообразующей средой, применением оборудования с различными интерфейсами ввода/вывода, необходимостью быстрой реакции в соответствии с параметрами датчиков, большими объемами запрашиваемой информации и т.п. Большие потоки информации в таких системах практически невозможно обработать центральным управляющим устройством, а время, которое затрачивается на выполнение такой задачи, не позволяет выполнять управление в динамическом режиме.

При повышении сложности системы управления ее надежность снижается, что приводит к тому, что такие системы должны выходить из строя с вероятностью близкой к единице. Однако, практика использования телефонных коммуникаций, мировой сети связи и энергосети, говорит о том, что даже в очень сложных и распределенных в пространстве системах есть возможность осуществлять надежное управление. Причиной этого служит децентрализованный подход. Функционирование таких систем поддерживается за счет того, что решения о выполнении подзадач реализуется локально. Централизованное же управление такими системами свело бы их эффективность к нулю.

При формировании децентрализованной системы, разработчик ориентируется на достижение заданных критериев функционирования. Отдельный узел такой системы не имеет информации об общих целях, его задача основывается на выполнении локальных критериев, которые сформированы таким образом, чтобы способствовать удовлетворению общесистемных целей. В системе такой узел можно охарактеризовать как потребителя ресурса. Таким образом, главной задачей при организации децентрализованной системы управления выступает оптимизация общесистемного эффекта использования ресурса. Такая задача имеет смысл только тогда, когда этот ресурс ограничен.

Исходя из принципа децентрализованного управления, все участники системы в процессе работы выставляют запрос на ресурс, то есть обмениваются информацией. Требованиям реализации такого принципа работы наиболее удовлетворяет полевая шина CAN (1). CAN-шина имеет высокую помехоустойчивость, обусловленную особенностью физического уровня, характеризуется устойчивостью против электрических и информационных перегрузок и имеет внутреннюю систему установки приоритетов. Главное отличие CAN-интерфейса от существующих стандартов заключается в том, что передаваемое сообщение (кадр) не содержит уникальный адрес устройств приемника, а несет только идентификатор пакета, определяющий объект, которому предназначаются данные. Приоритетность сообщения определяется значением идентификатора. Приоритет тем больше, чем идентификатор меньше. Как правило, контроллер позволяет задавать лишь эти два поля. Остальные поля используются для передачи специфических данных, необходимых для функционирования CAN.

Борьба за канал в CAN основана на использовании арбитража доступа, согласно которому, при одновременной передаче сообщений несколькими узлами побеждает тот, чей кадр имеет более высокий приоритет. Подобный подход обеспечивает защиту от непроизводительной потери пропускной способно-

сти канала при коллизиях. Однако недостатком такого решения может также быть то, что сообщения, которые имеют наименьший приоритет, могут быть никогда не переданы. Поэтому актуальным является вопрос динамического изменения приоритета сообщения.

В общем виде система управления состоит из  $m$  контроллеров, объединенных древовидной линией связи (ЛС). Каждый контроллер обрабатывает информацию, которую отображают технологические датчики. Важность этой информации разная. Пропускная способность канала связи  $N$  ограничена (2).

Таким образом, одна из основных задач при создании систем управления сложными технологическими объектами состоит в том, чтобы обеспечить максимум передачи информации в ЛС из каждого контроллера в порядке уменьшения ее важности, при этом система должна быть построена таким образом, чтобы вне зависимости от приоритета сообщений была гарантирована доставка всех данных. Такие системы необходимы на шахтах и рудниках при контроле загазованности выработок, при учете электроснабжения подземным технологическим оборудованием, при управлении разветвленными конвейерными линиями. Общим для всех этих систем является то, что они состоят из большого числа микропроцессорных контроллеров, соединенных линией связи, структура, которой определяется топологией горных выработок, а информация должна быть передана диспетчеру. Доступ к каналу связи должен получить тот контроллер, у которого наиболее важная информация, то есть длительность обслуживания отдельных микропроцессорных контроллеров зависит от важности накопленной этим контроллером информации.

Таким образом, задание сводится к тому, чтобы сами контроллеры без привлечения центра распределяли ресурс времени для передачи по каналу связи. Достаточно распространенным в практике является децентрализованное управление обменом данными в системах передачи информации в локальных вычислительных сетях на основе приоритета абонентов.

Приоритеты абонентов устанавливаются один раз и представляют собой кодовую комбинацию, которая передается в канал связи каждым абонентом с целью доступа к каналу. Если приоритет оказался большим – абонент занимает канал связи, если меньшим – ожидает освобождения канала связи и готовится к новому циклу борьбы за канал.

Децентрализованное приоритетное или кодовое управление допускает такую ситуацию, когда некоторые абоненты не получают доступ к каналу связи и формируется очередь. Избавление от очередей возможно, если приоритеты будут меняться, что может быть организовано на основе распределения пропускной способности канала связи.

Примем следующие обозначения:  $N$  – пропускная способность канала связи;  $m$  – число контроллеров;  $K(i)$  – число групп информации в данном контроллере;  $a_j$  – весовой коэффициент, характеризующий степень важности информации в  $j$ -й группе  $i$ -го контроллера;  $b_j$  – количество информации в  $j$ -й группе  $i$ -го контроллера;  $n_i$  – количество информации, переданной  $i$ -м контроллером в линию связи за время выполнения шага  $k$ ;  $\Sigma(a_j b_j)$  – величина, которая характеризует объем и важность информации, накопленной  $i$ -м контроллером;  $C$  – коэффициент шага итерации;  $\lambda$  – неопределенный множитель Лагранжа. То-

гда выражение, приведенное ниже, можно считать правилом смены запросов контроллера на доступ к каналу связи.

$$n_{i,k+1} = n_{i,k} - C \cdot \left\{ \alpha_1 \cdot \left[ 2 \cdot n_i - 2 \cdot \sum_{j=1}^{K(i)} (a_j b_j) - \lambda \right] - \alpha_2 \cdot \left( N - \sum_{i=1}^m n_i \right) \right\}$$

На основе синтеза графа пошагового обмена данными между узлами CAN-сегмента (1) и алгоритма функционирования узла децентрализованной системы управления (2) был получен граф, позволяющий выполнять распределение ограниченного ресурса в CAN-сегменте. Он был положен в основу алгоритма работы CAN-узла при проведении экспериментов по распределению пропускной способности канала связи.

Верхний уровень модели, используемой для исследований, представляет собой персональный компьютер с программным обеспечением для мониторинга информационных потоков в CAN-сегменте. Нижний уровень включает пять идентичных CAN-узла, которые участвуют в решении задачи распределения ограниченного ресурса. Для соединения верхнего и нижнего уровней используется промышленный контроллер Berghof, выполняющий функцию адаптера линии связи.

На описанной физической модели были проведены два эксперимента.

Первый эксперимент основан на сравнении алгоритмов распределения общего применения и канала связи. Входные и выходные данные опытов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Входные и выходные данные эксперимента по сравнению алгоритмов распределения

Величина	Устр-во	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
Входные данные				
<b>N (пропускная способность канала)</b>		5000	5000	5000
<b>ε (точность распределения ресурса)</b>		15	15	15
<b>δ (точность вычисления шага)</b>		1	1	1
<b>C (коэффициента шага)</b>		0,015	0,2	0,25
<b>Величина начального запроса</b>	Узел 1	10	10	10
	Узел 2	20	20	20
	Узел 3	30	30	30
	Узел 4	40	40	40
	Узел 5	50	50	50
<b>Σ(a<sub>j</sub>b<sub>j</sub>) (объем и важность информации)</b>	Узлы 1-5	10	10	10
Выходные данные				
<b>Доля ресурса после распределения</b>	Узел 1	82	86	100
	Узел 2	88	86	100
	Узел 3	96	106	100
	Узел 4	105	107	100
	Узел 5	115	107	100
<b>Количество шагов распределения</b>		44	9	17

Полученные кривые зависимостей  $n_i(k)$ , проведенных опытов, приведены на рисунке 1.

Анализ полученных характеристик показывает, что распределение канала связи протекает в соответствии с описанными в работе (2) правилами для общего алгоритма распределения.

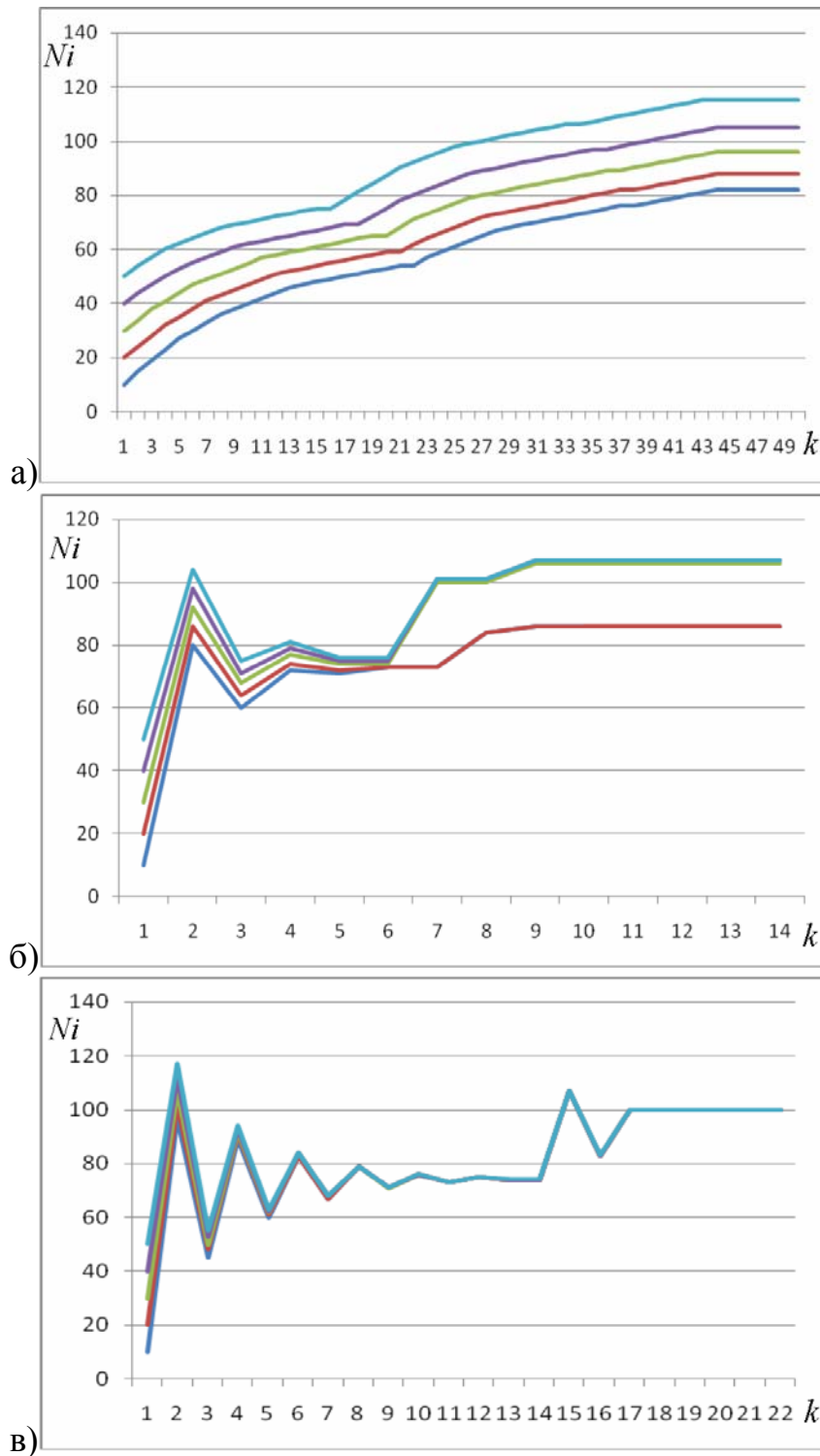


Рис. 1. а) кривые распределения канала связи при  $C = 0,015$ ; б) кривые распределения канала связи при  $C = 0,2$ ; в) кривые распределения канала связи при  $C = 0,25$

Второй эксперимент основан на исследовании влияния параметров правила смены запросов на скорость распределения канала связи. В соответствии с этим были составлены следующие ограничения для работы контроллеров:

$$\begin{aligned}
 1) \sum_{i=1}^5 n_{i,1} < N &= \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^2 a_{i,j} b_{i,j}; & 7) \sum_{i=1}^5 n_{i,1} > N &= \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^2 a_{i,j} b_{i,j}; \\
 2) \sum_{i=1}^5 n_{i,1} = N &= \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^2 a_{i,j} b_{i,j}; & 8) \sum_{i=1}^5 n_{i,1} = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^2 a_{i,j} b_{i,j} < N; \\
 3) \sum_{i=1}^5 n_{i,1} = N > \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^2 a_{i,j} b_{i,j}; & 9) \sum_{i=1}^5 n_{i,1} = N < \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^2 a_{i,j} b_{i,j}; \\
 4) \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^2 a_{i,j} b_{i,j} < \sum_{i=1}^5 n_{i,1} < N; & 10) \sum_{i=1}^5 n_{i,1} < N < \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^2 a_{i,j} b_{i,j}; \\
 5) N < \sum_{i=1}^5 n_{i,1} < \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^2 a_{i,j} b_{i,j}; & 11) \sum_{i=1}^5 n_{i,1} > \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^2 a_{i,j} b_{i,j} > N; \\
 6) \sum_{i=1}^5 n_{i,1} < \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^2 a_{i,j} b_{i,j} < N; & 12) \sum_{i=1}^5 n_{i,1} = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^2 a_{i,j} b_{i,j} > N;
 \end{aligned}$$

где  $\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^2 a_{i,j} b_{i,j}$  – сумма веса сообщений,  $N$  – пропускная способность канала

связи,  $\sum_{i=1}^5 n_{i,1}$  – начальная сумма запросов на ресурс.

Входные данные для проведенных опытов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Входные данные при исследовании влияния параметров правила смены запросов на скорость распределения канала связи

Опыт	$N$	$\delta$	$\varepsilon$	$n_{1,1}$	$n_{2,1}$	$n_{3,1}$	$n_{4,1}$	$n_{5,1}$	$\Sigma_1$	$\Sigma_2$	$\Sigma_3$	$\Sigma_4$	$\Sigma_5$	$C$	$\Delta C$
1	1500	1	15	50	40	30	20	10	100	200	300	400	500	(0...1)	0,001
2				500	400	200	100	300	100	200	300	400	500		
3				100	200	300	400	500	50	40	30	20	10		
4				50	100	150	200	250	10	20	30	40	50		
5				200	300	400	500	600	700	600	500	400	300		
6				50	40	30	20	10	100	200	300	250	150		
7				600	500	400	300	200	100	200	300	400	500		
8				350	250	50	1	150	1	50	150	250	350		
9				100	200	300	400	500	600	500	400	300	200		
10				50	100	150	200	250	200	300	400	500	600		
11				700	600	500	400	300	200	300	400	500	600		
12				700	600	500	400	300	300	400	500	600	700		

Для всех проведенных опытов пропускная способность канала связи, точность распределения ресурса ( $\varepsilon$ ) и точность вычисления шага ( $\delta$ ) были приняты как константные значения. Коэффициент шага изменялся в диапазоне от 0 до 1 с шагом 0,001. Также было принято ограничение на время проведения каждого этапа опытов – число шагов распределения не должно превышать 135.

Результатирующие кривые опытов представлены на рисунке 2.

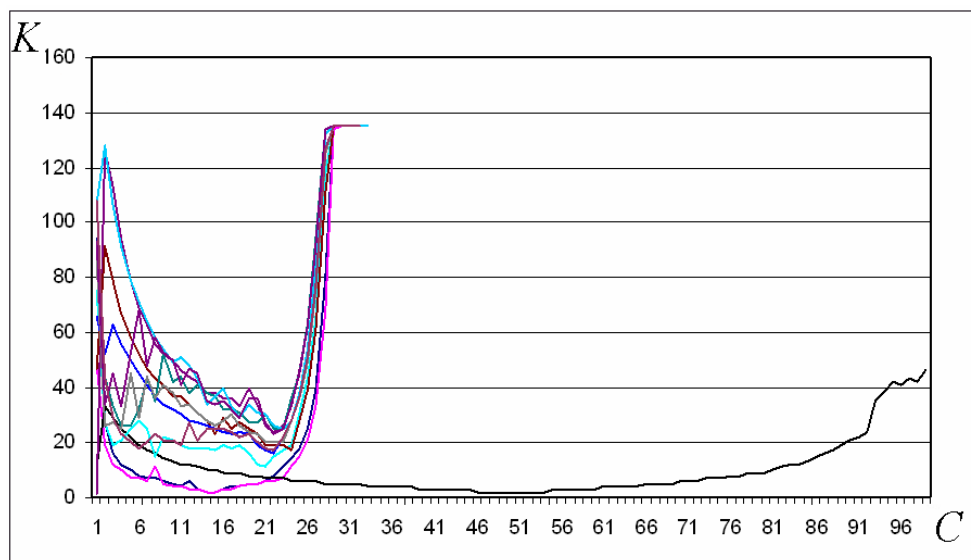


Рис. 2. Кривые соотношений  $K(C)$  при различных ограничениях

По полученным характеристикам можно сделать вывод, что при различных соотношениях между суммой начальных запросов, значении ресурса и суммой значений, характеризующих значимость информации каждого устройства, может всегда быть выбран диапазон, на котором достигается наилучший эффект – ресурс распределен за минимальное число шагов. В рамках эксперимента наименьшее число шагов в ходе распределения канала связи достигается при значениях шага итерации в диапазоне 0,17...0,24.

Результат исследований показал, что быстрее всего канал распределяется между устройствами при равенстве всех трех величин

Характер изменения запросов на ресурс при различных коэффициентах шага, показывает, что модель децентрализованной системы управления распределением канала связи работает аналогично с общей моделью (2).

Таким образом, на основе использования алгоритма распределения пропускной способности канала связи можно организовать динамическое изменение приоритета передаваемых сообщений.

#### Список литературы

1. В. В. Ткачев, П. Ю. Огеенко, А. В. Лозовягин, «Децентрализованное управление в задачах минимизации удельных энергозатрат», Науковий вісник НГУ №4, 2011
2. Г. Г. Пивняк, С. Н. Проценко, С. М. Стадник, В. В. Ткачев, Децентрализованное управление: Монография. – Д.: НГУ 2007. – 107 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесаревим В.В.  
Надійшла до редакції 30.05.11*