

Радиооптическая линия SCADA-систем с ретранслятором

Краснов Р.П., Останков А.В., Малышев И.И., Максимов Д.А., Кондусов В.А.

ВГТУ, г. Воронеж, Московский проспект, 14

Системы передачи данных, использующие технологию атмосферных оптических линий связи (АОЛС) позволяют получить широкополосные защищенные каналы для различных приложений. Такие системы используются в качестве технологий доступа на «последней миле», защищенных высоконадежных каналов в системах автоматизации и промышленной коммуникации. На сегодняшний день представлены первые коммерческие продукты, задействованные в программно-аппаратных комплексах SCADA для организации каналов управления техпроцессами, телеметрии.

Модель системы

Предложенная к рассмотрению модель гибридной радиооптической системы передачи, приведена на рисунке 1. Здесь использованы канал прямой видимости и канал с ретранслятором, работающим в режиме «декодирование и передача» (ДП). При этом в канале ретранслятора не происходит увеличения уровня шумов [10].

Во всех каналах основной линией передачи является АОЛС, при условии, что мгновенное отношение сигнал / шум на входе приемника будет выше предустановленного порога. При его снижении ниже порогового уровня происходит переключение на линию РЧ.

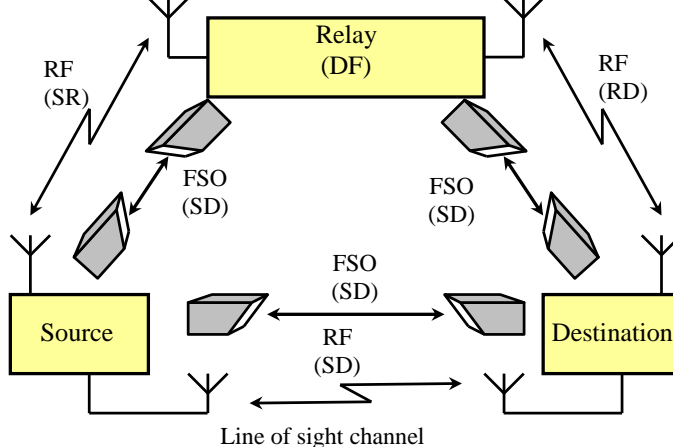


Рисунок 1. Структура гибридной системы передачи

Для моделирования коэффициента передачи РЧ каналов используем m -распределение Накагами. Интегральная функция вероятности (ИФВ) величины γ_{AB}^{RF} имеет вид

$$F_{AB}^{RF}(\gamma) = \int_0^{\gamma} p_{AB}^{RF}(\gamma) d\gamma = \frac{1}{\Gamma(m)} \gamma \left(m, \frac{\gamma m}{\bar{\gamma}_{AB}^{RF}} \right), \quad (1)$$

где $\gamma(\cdot, \cdot)$ – нижняя неполная гамма-функция, $p_{AB}^{RF}(\gamma)$ – функция плотности вероятности (ФПВ) величины γ_{AB}^{RF} .

Для линий АОЛС аналогично зададим мгновенное γ_{AB}^{FSO} и среднее $\bar{\gamma}_{AB}^{FSO}$ значение отношения сигнал/шум ($AB \in \{SR, SD, RD\}$). При использовании экспоненциального распределения Вейбулла ИФР величины γ_{AB}^{FSO} будет равно:

$$F_{AB}^{FSO}(\gamma) = \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{1}{\eta} \sqrt{\frac{\gamma}{\bar{\gamma}_{AB}^{FSO}}} \right)^\beta \right] \right\}^\alpha. \quad (2)$$

Для всей системы в целом отношение сигнал/шум γ_Σ определяется как $\gamma_\Sigma = \max(\gamma_{SD}, \gamma_{RD})$. При передаче по линии АОЛС, ИФР величины γ_Σ^{FSO} и γ_Σ^{RF} может быть получена в виде выражения

$$F_\Sigma^{FSO} = F_{SD}^{FSO}(\gamma)F_R^{FSO}(\gamma), \quad F_\Sigma^{RF} = F_{SD}^{RF}(\gamma)F_R^{RF}(\gamma). \quad (3)$$

Здесь $F_R^{FSO}(\gamma)$ и $F_R^{RF}(\gamma)$ - ИФР отношения сигнал/шум в канале с ретранслятором

Состояние отказа в системе связи наступает, если мгновенные значения отношения сигнал/шум линии АОЛС и РЧ падают ниже установленных порогов γ_T^{FSO} и γ_T^{RF} соответственно.

Выражение для вероятности отказа P_o определяется как

$$P_o = F_\Sigma^{FSO}(\gamma_T^{FSO})F_\Sigma^{RF}(\gamma_T^{RF}), \quad (4)$$

Среднюю битовую ошибку определим для квадратурной фазовой манипуляции (MPSK) при равных скоростях передачи в линиях АОЛС и РЧ. Условная вероятность битовой ошибки при передаче сигналов MPSK при мгновенном отношении сигнал/шум γ на любой линии, дается выражением

$$P_{MPSK}(\gamma) = \frac{1}{\log_2 M} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma} \sin(\pi/M) \sqrt{\log_2 M}). \quad (5)$$

Среднее значение битовой ошибки гибридной системы АОЛС/РЧ P_{BER} определяем исходя из средних битовых ошибок линий АОЛС и РЧ следующим образом:

$$P_{BER} = \frac{P_\Sigma^{FSO}(\gamma_T^{FSO}) + F_\Sigma^{FSO}(\gamma_T^{FSO})P_\Sigma^{RF}(\gamma_T^{RF})}{1 - P_o}, \quad (6)$$

где $P_\Sigma^{FSO}(\gamma_T^{FSO})$ и $P_\Sigma^{RF}(\gamma_T^{RF})$ Битовые ошибки каналов АОЛС и РЧ соответственно.

Среднее значение величины битовой ошибки в линии АОЛС при условии, что $\gamma_\Sigma^{FSO} > \gamma_T^{FSO}$ может быть определено как

$$P_\Sigma^{FSO}(\gamma) = \int_{\gamma_T^{FSO}}^{\infty} P_{MPSK}(\gamma) P_\Sigma^{FSO}(\gamma) d\gamma. \quad (7)$$

Аналогично зададим среднюю величину битовой ошибки для линии РЧ, когда $\gamma_\Sigma^{RF} > \gamma_T^{RF}$ зададим как

$$P_\Sigma^{RF}(\gamma) = \int_{\gamma_T^{RF}}^{\infty} P_{MPSK}(\gamma) f_\Sigma^{RF}(\gamma) d\gamma. \quad (8)$$

Подставляя (7) и (8) в (6), получим среднюю битовую ошибку гибридной системы АОЛС/РЧ с ретранслятором.

Численное моделирование

При моделировании использовался параметр распределения Накагами $m = 3$, тип модуляции BPSK, т.е. $M = 2$, а средние отношения сигнал/шум в каналах считалось одинаковым. На рисунке 2, представлены зависимости вероятности отказа P_o от среднего отношения сигнал/шум линии АОЛС $\bar{\gamma}_\Sigma^{FSO}$ для случая слабой ($\sigma_i^2=0,2$) и сильной ($\sigma_i^2=5$) турбулентности. Можно видеть, что для случаев $m = 3$ и $m = 6$ качество связи практически одинаково. Однако при увеличении σ_i^2 качество связи ожидаемо падает.

На рисунке 3 представлена зависимость P_o от среднего отношения сигнал/шум в линии АОЛС при фиксированных γ_T^{FSO} и γ_T^{RF} . Даже при низком качестве РЧ канала ($\bar{\gamma}^{RF} = 5$ дБ) предложенная система работает лучше, чем одноканальная система АОЛС.

На рисунке 4 представлена зависимость битовой ошибки от среднего отношения сигнал/шум на линии АОЛС при различных $\bar{\gamma}^{RF}$.

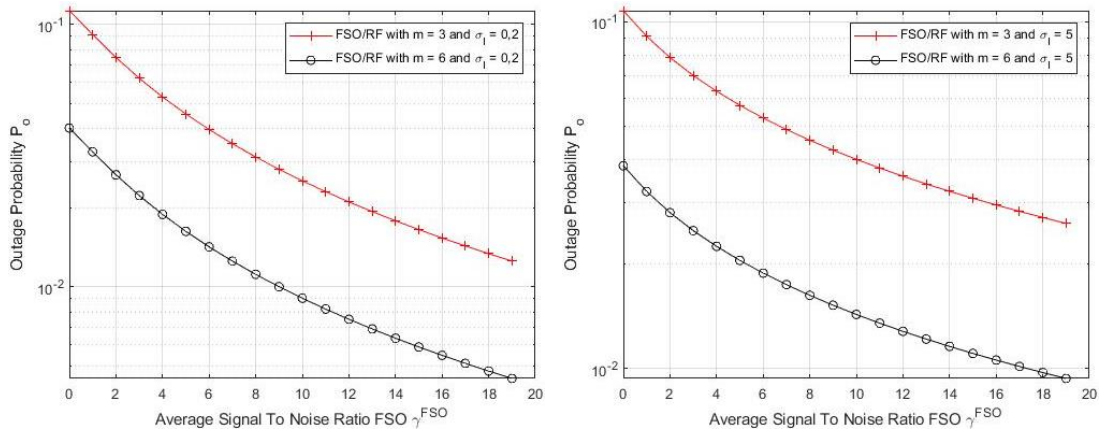


Рисунок. 2 Вероятность отказа в функции отношения сигнал/шум линии АОЛС

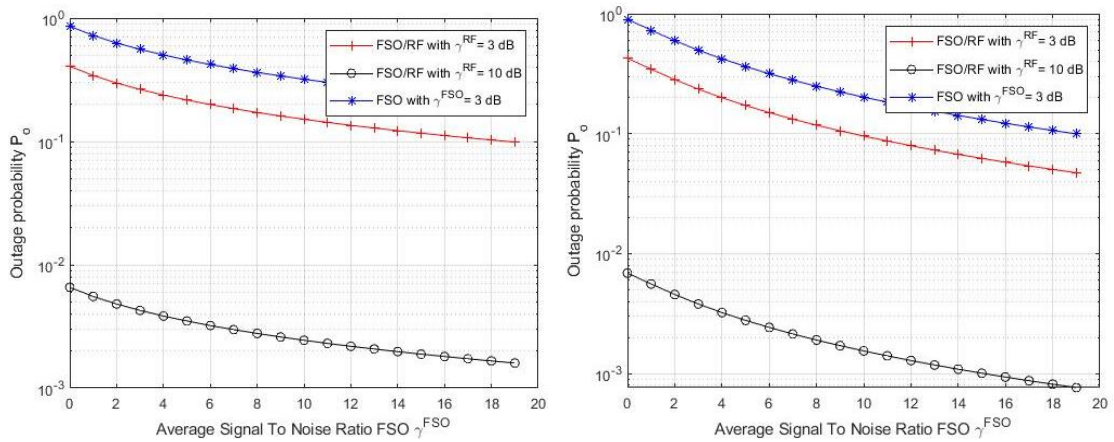


Рисунок. 3 Вероятность отказа в функции отношения сигнал/шум линии АОЛС

Гибридная система АОЛС/РЧ имеет вероятность ошибки ниже, чем у одной линии АОЛС так как при низких $\bar{\gamma}^{FSO}$ связь поддерживается за счет линии РЧ. С ростом $\bar{\gamma}^{FSO}$ система задействует канал АОЛС, что приводит к росту вероятности битовой ошибки. Однако дальнейший рост $\bar{\gamma}^{FSO}$ снова снизит вероятность битовой ошибки.

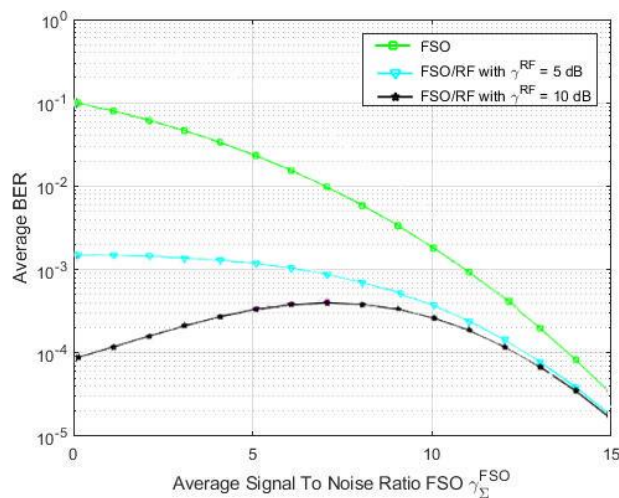


Рисунок 4. Битовая ошибка системы АОЛС/РЧ